

Opinnäytetyö (AMK)

Bio- ja elintarviketekniikka

Bioteekniikka

2015

Saara Kaikkonen

UV-SÄTEILYLÄHTEIDEN TYÖTURVALLISUUSSELVITYS



TURUN AMMATTIKORKEAKOULU
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Saara Kaikkonen

UV-SÄTEILYLÄHTEIDEN TYÖTURVALLISUUSSELVITYS

Vuonna 2011 Wallacissa tapahtui UV-säteilyn työturvallisuuteen liittyvä läheltä piti -tilanne. Sen seurauksena haluttiin kartoittaa kaikki talon UV-säteilylähteet ja parantaa UV-säteilyltä suojautumista.

Työn tavoite oli selvittää UV-säteilyn teoriaa ja sen käyttöön liittyviä riskejä, lainsäädäntöä ja standardeja sekä suojautumista. Wallacin UV-säteilylähteet etsittiin ja niistä koottiin lista, johon merkittiin oleelliset tiedot lähteistä sekä se olivatko varoitusmerkinnät ja työntekijöiden suojaus asianmukaiset. Puutteiden korjaamiseksi suunniteltiin jatkotoimenpiteitä, ja järjestettiin säteilymittaus. Wallacista löytyi UV-säteilylähteitä, jotka saattavat aiheuttaa työturvallisuusriskin jos suojautumisesta ei huolehdita, kuten laminaarikaappien UV-lamput. Löytyi myös UV-säteilylähteitä, joiden parissa työskennellessä ei ole edes mahdollisuutta altistua UV-säteilylle kuten spektrofotometrit. Näissä laitteissa säteilylähde on piilossa laitteen sisällä eikä säteily pääse ulos.

Edellisten kartoitusten tuloksena varoitusmerkintöjä on Wallacissa huomattavasti lisätty ja UV-säteilyltä suojautuminen on erinomaisella tasolla. Varoitusmerkintöjä tulisi kuitenkin yhtenäistää ja laatia raportti mittaustulosten perusteella jokaisesta UV-säteilylähteestä. Opinnäytetyötä voi hyödyntää koulutusmateriaalina. Tulosten perusteella voidaan tehdä suunnitelmia jatkotoimenpiteille. Viranomaismääräykset on täytetty UV-säteilyn osalta, kun työturvallisuusriskit on kartoitettu ja tarvittavat korjaavat toimenpiteet on suoritettu.

ASIASANAT:

Ultraviolettisäteily, UV-säteily, UV-valo, optinen säteily, työturvallisuus, työsuojelu, työterveys, työtapaturma, säteilyturvallisuus

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Degree Programme in Biotechnology and Food Technology | Biotechnology

2015 | 56

Ilari Suominen, PhD, Principal Lecturer, Turku University of Applied Sciences

Sari Buss, M.Sc. HSE Manager, Occupational and Environmental Safety, PerkinElmer Wallac Oy

Saara Kaikkonen

OCCUPATIONAL SAFETY ASSESSMENT OF ULTRAVIOLET RADIATION SOURCES

In 2011 a close-call situation with ultraviolet radiation occurred at Wallac and due to this, all ultraviolet sources in the building were listed. Also the sufficiency of protection was checked.

The objective of this thesis was to study the theory of ultraviolet radiation and the related risks, standards and law. All UV sources were located and a list with core information was compiled and the protection and warning measures were evaluated. To correct shortcomings, further actions were planned and measuring UV radiation with a UV radiation meter was organized. Some sources were found that may constitute a safety risk if insufficient protection is used, such as the UV lamps in the fume cupboards. Other UV sources were not harmful, for instance the spectrophotometers, as they have the UV lamp inside them. In that case UV radiation is not emitted from the device.

After previous examination, the number of warning signs has been increased remarkably. Protection is also at a very good level. Warning signs should be harmonized and a report written based on the results obtained from the radiometric measurement of each UV source. This thesis may serve as training material. Further measures will be taken based on the UV radiation measurement results. The regulations concerning UV radiation have been complied with as occupational safety risks have been charted and corrective actions done.

KEYWORDS:

Ultra-violet radiation, UV radiation, UV light, optical radiation, occupational safety, occupational health and safety, industrial health, industrial accident, radiation safety

SISÄLTÖ

SANASTO	7
1 JOHDANTO	8
2 TEORIA	10
2.1 UV-säteily ja sen käyttö	10
2.1.1 Yleistä	10
2.1.2 UV-säteilyn käyttö teollisuudessa ja tutkimuksessa	14
2.2 UV-säteilyn vaikutukset	14
2.2.1 UV-säteilyn biologiset ja terveydelliset vaikutukset	15
2.2.2 Vaikutukset materiaaleihin	21
2.3 Lainsäädäntö	23
2.3.1 Työturvallisuus ja laki	24
2.3.2 UV-säteilyturvallisuutta koskeva laki	25
2.3.3 Standardit ja säädökset	26
2.3.4 UV-säteilyn altistumisrajat, laskukaava ja säteilymittaus	28
2.3.5 Suojautuminen ja varoitusmerkinnät	32
2.3.6 UV-säteilyyn liittyvän lain soveltaminen Wallacilla	33
3 TYÖN TAVOITE	34
3.1 Alkutilanne	34
3.2 Tavoitteet teorialle	34
3.3 Tavoitteet käytännön työlle	35
4 KÄYTÄNNÖN TYÖ	36
4.1 Kuvaus Wallacin UV-säteilylähteiden kartoituksen toteutuksesta	36
4.2 Wallacin UV-säteilylähteet	36
4.2.1 Wallacin työturvallisuusriskiä aiheuttavat UV-säteilylähteet	37
4.2.2 Wallacin muut UV-säteilylähteet	38
4.3 Suojautuminen ja muut huomioitavat asiat Wallacilla	39
4.3.1 Suojautuminen Wallacilla	39
4.3.2 Wallacin varoitusmerkinnät	40
5 LOPPUPÄÄTELMÄT	46
5.1 Työn arviointi	46

5.1.1 Tavoitteiden saavuttaminen	46
5.1.2 Luotettavuus	46
5.1.3 Kattavuus	46
5.1.4 Hyödynnettävyys	47
5.1.5 Merkitys	47
5.2 Jatkotoimenpiteet	48
6 LÄHDELUETTELO	53

KUVAT

Kuva 1. Wallac sijaitsee Turussa pitkässä 4-kerroksisessa teräsbetonirakenteisessa rakennuksessa.	8
Kuva 3. Erilaisten valohoitolaitteiden säteilyspektrejä. PUVA on psoraleeni + UV-A. SUP on yhdistelmä PUVA- ja UV-B-laitteiden spektreistä. (10)	13
Kuva 4. Hiiliatomien välillä oleva konjugoitunut kaksoissidos. (17)	16
Kuva 5. Eri vaurioiden syntyherkkyys erilaisilla aallonpituuksilla. Y-akselin (suhteellinen herkkyys) arvo 1 tarkoittaa sitä, että kyseinen vaikutus tulee pienimmällä annoksella. Eryteema on ihon palaminen. Tyvi- ja okasolusyöpä on määritetty koe-eläimillä. (16)	17
Kuva 6. Ihon rakenne ja optisen säteilyn pääsy ihoon. (16)	18
Kuva 7. UV-säteilyn aiheuttamia vaurioita DNA:ssa. Syklobutaanidimeeri ja 6-4-fototuote. (16)	20
Kuva 8. Wallacissa erään nykyään jo käytöstä poistetun UV-lampun keltaiseksi värjäämä seinä.	22
Kuva 9. UV-säteilyn lähes kokonaan värjäämä pipettiteline. Vain varjoon jäävä osa on säilyttänyt jonkin verran valkoista väriään.	23
Kuva 11. Optisen säteilyn varoitusmerkki. (31)	33
Kuva 12. Oveen ripustetaan kyltti, kun UV-lamppu on käytössä laboratorion laminaarikaapissa.	41
Kuva 13. Ovenkahvaan ripustetaan varoituskyltti, kun UV-valo on päällä laboratoriossa.	42
Kuva 14. Oranssi tarra UV-säteilystä varoittamiseen ja suojauskehoitus.	42
Kuva 15. Huoneen ovesta sen ulkopuolella kiinni oleva varoituskyltti.	43
Kuva 16. UV-valon ollessa käytössä laboratoriossa huoneen ulkopuolella palaa punainen valo, joka varoittaa laboratorioon menemisestä.	44
Kuva 17. Optisen säteilyn varoitusmerkki. Tarvittaessa on käytettävä lisämerkkiä, jossa annetaan lisätietoa optisen säteilyn tyypistä (UV-säteily). (31)	44
Kuva 18. Optisen säteilyn varoitusmerkki. (31)	50

TAULUKOT

Taulukko 1. Eri UV-luokkien (A, B, C) vaikutuksia ihoon ja silmiin. Kaikkia vaikutuksia ei ole mainittu jokaisen aallonpituuden kohdalla erikseen, vaan on kerrottu vaikutukset jotka syntyvät nopeimmin kyseisellä UV-luokalla. Silti toisetkin UV-luokat voivat aiheuttaa näitä vaikutuksia. Myös UV-A vaikuttaa silmiin ja siltä pitää suojautua. 21

Taulukko 2. UV-säteilyn altistumisrajat väestölle ja työntekijöille päivää kohden. (2) 29

SANASTO

ACGIH	Työterveyttä edistävä asiantuntijajärjestö USA:ssa, American Conference of Governmental Industrial Hygienists (1)
CIE	Kansainvälinen valaistuskomitea, Commission Internationale de l'Eclairage (2)
E	Irradianssi eli teho pinta-alaa kohti, yksikkö W/m^2 (3)
$E(\lambda)$	Spektrinen irradianssi eli irradianssi aallonpituuden suhteen, yksikkö $\text{W/m}^2\text{nm}$ (3)
H_{eff}	Säteilyannos eli energiatiheys, joka tulee säteilylähteestä, yksikkö J/m^2 (3)
ICNIRP	Kansainvälinen ionisoimattoman säteilyn komissio, International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (2)
Ionisoimaton säteily	Säteily, joka ei ionisoi eli muuta molekyyliä ioneiksi, esim. optinen säteily (4)
Optinen säteily	UV-säteily, näkyvä valo ja infrapunasäteily, aallonpituusväli 100-780 nm (6)
$S(\lambda)$	Spektrinen herkkyyskerroin, saadaan kirjallisuudesta, kuvaa ihon herkkyyttä UV-säteilyn eri aallonpituuksille ja on välillä 0-1 (3)
UV-säteily	Ultraviolettisäteily, 100-400 nm (6)
SOTU	Laitteen tunnistenumero. Kaikki Wallacin laitteet on merkitty SOTU-numerolla.

1 JOHDANTO

Kansainvälinen PerkinElmer -konserni kehittää sellaisia teknologisia ratkaisuja, joilla voidaan parantaa ihmisten terveyttä ja elämän laatua. PerkinElmerin Turun yksikkö, Wallac Oy, on yksi konsernin merkittävimpiä tuotekehityksen, tuotannon ja markkinoinnin toimipisteitä. Wallac on perustettu vuonna 1950. Se on alusta lähtien valmistanut tarkkoja mittalaitteita, ja nykyään se tekee laitejärjestelmiä yhdessä ohjelmistojen ja kemiallisten reagenssien kanssa ja toimittaa näitä terveyden alan asiakkaille ympäri maailmaa. Wallac sijaitsee 4-tasoisessa teräsbetonirakenteisessa pitkässä rakennuksessa, jonka pinta-ala on n. 32 500 m².



Kuva 1. Wallac sijaitsee Turussa pitkässä 4-kerroksisessa teräsbetonirakenteisessa rakennuksessa.

Wallacissa on käytössä Liki Liippas -menettely, joka on läheltä piti -tilanteiden kirjaamiseksi ja ehkäisemiseksi tarkoitettu järjestelmä. Läheltä piti -tilanne on vaaratilanne, jossa tapaturma on ollut lähellä mutta henkilövahingoilta on kuitenkin välttytty (7).

Yrityksessä sattui ultraviolettisäteilyn käyttöön liittyvä läheltä piti -tilanne, josta tehtiin Liki Liippas -ilmoitus ja jonka takia haluttiin tehdä perusteellinen selvitys UV-säteilyturvallisuuden tasosta yrityksessä. Haluttiin etsiä ja listata kaikki lähteet, jotka aiheuttavat työntekijöille riskin altistua UV-säteilylle. Lisäksi haluttiin selvittää UV-säteilyn teoriaa, vaikutuksia terveydelle sekä siihen liittyviä lakeja, standardeja ja asetuksia.

UV-säteilylähteistä on laadittu excel-lista ensimmäisen kerran heinäkuussa 2013 ja ensimmäinen päivitys tehtiin helmikuussa 2014. Päivityksessä taulukoon lisättiin lamppujen tehot niistä lampuista, mistä ne saatiin selville. Tämä on toinen päivitys säteilylähteistä ja ensimmäinen kerta, jolloin teoriaosuus on mukana. Tässä toisessa päivityksessä tarkastettiin koko lista ja lisättiin puuttuvat tiedot siinä jo olevista UV-säteilylähteistä sekä lisättiin ne lähteet, jotka siitä puuttuivat.

Lisäksi pohdittiin jatkotoimenpiteitä työturvallisuuden parantamiseksi UV-säteilylähteiden osalta niissä tapauksissa, joissa se on tarpeellista.

2 TEORIA

2.1 UV-säteily ja sen käyttö

Ultraviolettisäteily (UV) on auringon tuottaman valon tietty aallonpituusspektri (8). Ilmakehän otsonikerros suodattaa suurimman osan auringon UV-säteilystä, ja vain vähän siitä pääsee maan pinnalle (9). Haitallisin UV-säteilyn spektri eli UV-C suodattuu kokonaan (9).

UV-säteilyä käytetään hyödyksi monissa teollisuuden ja tutkimuksen sekä kauneudenhoidon sovelluksissa. Arkielämässä tunnetuin käyttömuoto lienee solariumit, joissa UV-säteilyä hyödynnetään ihon kosmeettiseen ruskettamiseen. UV-valohoitoja käytetään erilaisten ihosairauksien hoitamisessa. (10)

Ulkotyöntekijät altistuvat eniten auringon UV-säteilylle. (4)

2.1.1 Yleistä

Ultraviolettisäteily on valon aallonpituusspektri välillä 100-400 nm. Näkyvä valo on aallonpituudella 400-780 nm. Infrapunasäteily eli lämpösäteily on 780 nm - 1 mm. (11)

UV-säteily luokitellaan optiseksi säteilyksi. Optinen säteily on säteilyä aallonpituusalueella 100 nm – 1 mm. (6) Säteily luokitellaan ionisoivaan (esimerkiksi röntgenlaitteet) ja ionisoimattomaan säteilyyn. UV-säteily on ionisoimatonta säteilyä. (12)

UV-säteily on jaettu kolmeen eri luokkaan aallonpituuden mukaan. CIE (Kansainvälinen valaistus- ja standardointijärjestö) ja ICNIRPin (kansainvälinen ionisoimattoman säteilyn toimikunta) ovat määritelleet UV-säteilyn eri luokat seuraavasti:

- 315-400 nm,
- UV-B 280-315 nm
- UV-C 100-280 nm.

CIE ja ICNIRP ovat jakaneet vielä UV-A-säteilyn kahteen luokkaan:

- pitkäaaltoiseen UV-A1-säteilyyn 340-400 nm ja
- lyhytaaltoiseen UV-A2-säteilyyn 320-340 nm

(13)

Auringosta tulee UV-säteilyä maahan, ja siitä 95 % on UV-A-säteilyä, 5 % UV-B-säteilyä, kun taas UV-C-säteily ei läpäise ilmakehää ollenkaan. Sekä UV-A, että UV-B ruskettavat ihoa, mutta lisäävät myös ihosyövän riskiä. Lisäksi UV-B paksuntaa ihoa, mikä suojaa kudoksia UV-säteilyn haitallisilta vaikutuksilta. Myös ruskettuminen suojaa ihoa. UV-A vanhentaa ihoa ennenaikaisesti. UV-säteilyn suuri määrä ja ihon palaminen lisäävät riskiä ihosyöpään sairastumisesta. UV-C polttaa erittäin tehokkaasti, mutta sitä ei saa auringon valosta, vain teollisista lähteistä. (9)

Ulkotyöntekijät altistuvat auringon UV-säteilylle. Se on ulkona voimakkain UV-säteilylähde. Keinotekoisesti tuotettua haitallista UV-säteilyä syntyy hitsauksessa, UV-lampuissa ja valonheittimissä. (4)

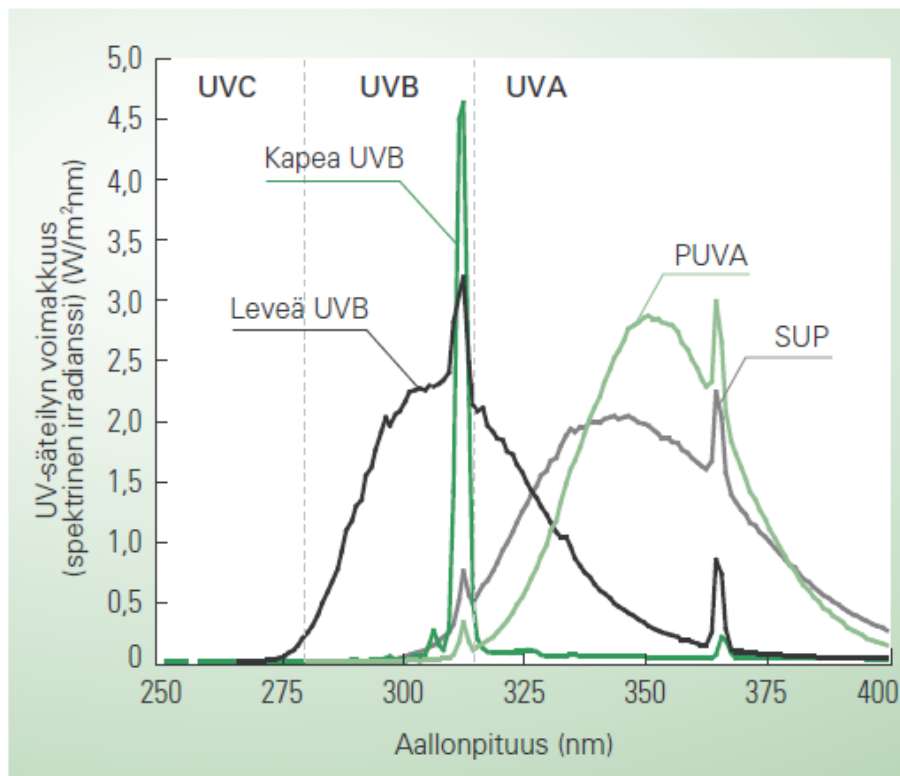
Auringon UV-säteilyltä on tarpeen suojautua ulkona. Erityisesti ulkotyöntekijöiden on syytä ottaa riittävä suojautuminen huomioon. Iho suojataan UV-säteilyltä vaatteilla ja päähineellä, aurinkolasit suojaavat silmiä. Kevyt vaatetus, joka peittää ihon mahdollisimman hyvin mutta läpäisee hien, on paras suoja. UV-säteilyltä suojaavissa kankaissa käytetään mikrokuituja, jotka heijastavat ja taittavat UV-säteilyä. Kasvot, niska, kaula ja korvat tulee suojata esimerkiksi lippalakilla tai lierihatulla. Hyvät aurinkolasit suodattavat tehokkaasti sekä edestä

että sivulta tulevaa UV-säteilyä ja niitä käytettäessä näöntarkkuus säilyy hyvänä. Aurinkolasien sangoissa oleva merkintä UV 100 % tai UV 400 tarkoittaa, että lasit suodattavat UV-säteilyn kokonaan. (14)

UV-säteily ei heijastu samalla tavalla pinnoista kuin näkyvä valo. Se voi heijastua paremmin tai huonommin riippuen pinnasta. UV-säteily kuitenkin kulkee samalla tavalla kuin näkyvä valo, ja siksi UV-lampun säteily osuu niihin kohtiin joihin normaali valokin. Esimerkiksi jos laminaarikaappi on hieman auki alhaalta ja näkyvää valoa pääsee sitä kautta ulos, niin vastaavassa tilanteessa myös UV-säteilyä tulee ulos. (STUK:n erikoistutkija Lasse Ylianttila, 12.3.2015)

UV-säteilyä käytetään ihonhoitoon ja kosmeettisiin tarkoituksiin solariumeissa ja valohoitolaitteissa. Solariumeilla rusketetaan ihoa esteettisistä syistä. Solariumiin pyritään saamaan auringon säteilyä muistuttava spektri. Spektri tarkoittaa säteilyn eri aallonpituuksia ja myös säteilyn voimakkuutta kullakin aallonpituudella. Solariumit ruskettavat ihoa pääasiassa UV-A -säteilyllä. Ne tuottavat sitä 5-10 kertaa enemmän, kuin aurinko. UV-B -säteilyä tulee saman verran, kuin auringostakin. UV-C on suodatettu kokonaan pois. Aallonpituusalue solariumeissa on noin 280-400 nm ja suurin säteilyn teho on aallonpituuksilla 320-400 nm. Solariumit ovat auringon lisäksi merkittävä UV-säteilyn lähde iholle. (10)

Ihosairauksia, kuten atooppista ihottumaa tai psoriasista voidaan hoitaa valohoidoilla lääkärin määräyksestä. Laitteista tuleva valo on UV-säteilyä. Säteilyn lähde on melkein aina loistelamppu, ja valohoitolaitteissa käytetään heijastimia ja suodattimia kuten solariumeissa. UV-C -säteily suodattuu kokonaan. Eri valohoitolaitteissa on hyvin erilaiset spektrit, jotka on saatu aikaan suodattimilla. (10)



Kuva 2. Erilaisten valohoitolaitteiden säteilyspektrejä. PUVA on psoraleeni + UV-A. SUP on yhdistelmä PUVA- ja UV-B-laitteiden spektreistä. (10)

Spektrit ovat melko kapeita, vain noin 5-50 nm levyisiä, ja ne ovat aallonpituusalueella 275-400 nm. Valohoitolaitteen aallonpituusjakauma vaikuttaa eniten laitteen ja hoitomuodon valintaan sekä hoidon tehokkuuteen. (10)

UV-lampun purkausputkessa tapahtuu kaasupurkaus, jossa lamppuun tulevan sähköän energia muuttuu UV-säteilyksi ja näkyväksi valoksi. UV-säteilylamppuja on erityyppisiä, kuten loiste-, erikois-, elohopea-, hehku- ja halogeenilamppu. Tavallinen kattolamppukin tuottaa jonkin verran UV-säteilyä, ei kuitenkaan terveydelle haitallisia määriä. Lampputypistä riippuu, millainen on lampun UV-spektri. Spektrijakauma luokitellaan karkeasti kahteen erilaiseen alatyypin: viivaspektriin ja jatkuvaan spektriin. Viivaspektrissä säteily tapahtuu tietyillä aallonpituuksilla tai spektrin osilla, kun taas jatkuvassa spektrissä säteily tapahtuu kaikilla aallonpituuksilla tai laajalla aallonpituusalueella. (10)

2.1.2 UV-säteilyn käyttö teollisuudessa ja tutkimuksessa

Teollisuudessa ja tutkimuksessa sekä laboratorioissa, leipomoissa ja vedenpuhdistuslaitoksilla käytetään lähinnä UV-C -säteilyä moniin erilaisiin sovelluksiin (10). Mikrobin tuhoaminen (desinfiointi) työskentelyalueilta ja -välineistä, maalien kovettaminen ja painotuotteiden kuivaaminen, vedenpuhdistus ja hitsausprosessit ovat yleisiä käyttökohteita. (10) Esimerkiksi Kojairin laminaarikaapeissa käytetään UV-säteilyä desinfiointiin ja niissä säteily on aina UV-C-säteilyä 254 nm aallonpituudella ja 4,9 W teholla (Wallacin toimihenkilöiden työsuojeluvaltuutettu Pirkko Grönroos, 3.2.2014).

UV-säteilyn käyttö voidaan joissakin tapauksissa korvata myös toisilla ratkaisuilta. Sen sijaan, että käytetään UV:ta esimerkiksi laboratorion pintojen desinfioimiseen, voidaan käyttää vaikka etanolia (15).

Joissakin vanhemmissa laboratorioissa tai puhdastiloissa voi olla vielä puisia pintoja, kuten Wallacissa erään laboratorion osassa. Niiden korvaaminen sellaisilla metallipinnoilla, jotka hylkivät mikrobeja ja joita voi helpommin desinfioida vaikka etanolilla, mahdollistaa UV:n käytön vähentämisen tai lopettamisen. Laboratoriopintojen desinfiointi UV-säteilyä käyttämällä ei ole enää nykyaikaista lukuun ottamatta laminaarikaappeja, joissa se on vallitseva desinfiointimenetelmä. (Wallacin linjavastaava Sari Lindgren 10.12.2014)

2.2 UV-säteilyn vaikutukset

UV-säteilylle altistuva suurin työntekijäryhmä ovat hitsaajat ja heidän läheisyydessään työskentelevät. (2)

Ihminen tarvitsee auringon UV-säteilyä, ja ilman sitä elimistö ei pysy terveenä. Auringonvalo synnyttää iholla D-vitamiinia, joka on ihmiselle tarpeellinen hormoni. (16). UV-säteily on kuitenkin haitallista liian suurina annoksina sekä ihmiselle, että materiaaleille, erityisesti muoveille. Siksi työturvallisuuteen on kiinni-

tettävä huomiota työskenneltäessä UV-säteilylähteiden kanssa tai altistuttaessa UV-säteilylle.

Vaikutukset ihmisen terveyteen ovat moninaiset. Liian suurella UV-altistuksella voi olla sekä vaarattomia seurauksia, kuten ihon paksuuntuminen, että vakavia, kuten syöpä. Vaarattomat seuraukset ovat ihon puolustusmekanismeja. (16)

UV-säteilylle herkistyneet henkilöt on suojattava erityisen tarkasti säteilylle altistumiselta. Normaalit altistusrajat, jotka ovat voimassa väestölle yleisesti, eivät päde heille, vaan tarvitaan tiukempaa suojautumista. (2)

2.2.1 UV-säteilyn biologiset ja terveydelliset vaikutukset

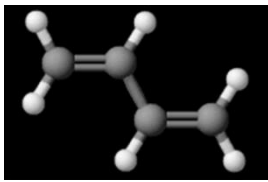
UV-säteily on liian suurina annoksina haitallista ihmiselle. Haitallisuus riippuu säteilylle altistuneesta kudoksesta. Haittavaikutukset kohdistuvat pääasiassa ihoon ja silmiin. Silmä on moninkertaisesti herkempi UV-säteilylle, kuin iho. Siksi silmiä on erityisesti suojeltava, kun altistutaan UV-säteilylle. (16)

UV-säteily aiheuttaa muutoksia eläviin kudoksiin fotokemiallisten reaktioiden ja niiden aiheuttamien seurausten takia. Ihon ”palaminen” ei johdu sen lämpenemisestä, vaan UV-säteilyn vaikutuksesta. Siten sekä ruskettuminen, että palaminen ovat fotokemiallisia ja fotobiologisia ilmiöitä. Seuraavia välittömiä ja kroonisia UV-säteilyn aikaansaamia vaikutuksia esiintyy: ihon punoitus eli eryteema, 1–3 vuorokaudessa, ihon ennen aikainen vanheneminen ja ihosyövän synty aikaisintaan kuukausien ja todennäköisesti vasta vuosikymmenien kuluttua. Osa muutoksista palautuu, kuten ihon palaminen, mutta osa on pysyviä, kuten ihosolussa tapahtuva mutaatio, joka voi myöhemmin johtaa syöpään. (16)

Säteily vaikuttaa ihossa monen eri mekanismin kautta, joista terveyden kannalta tärkein on absorboituminen eli säteilyn imeytyminen. Esimerkiksi solujen DNA ja RNA absorboivat eniten säteilyä 260 nm:n aallonpituudella eli UV-C -alueella. (16)

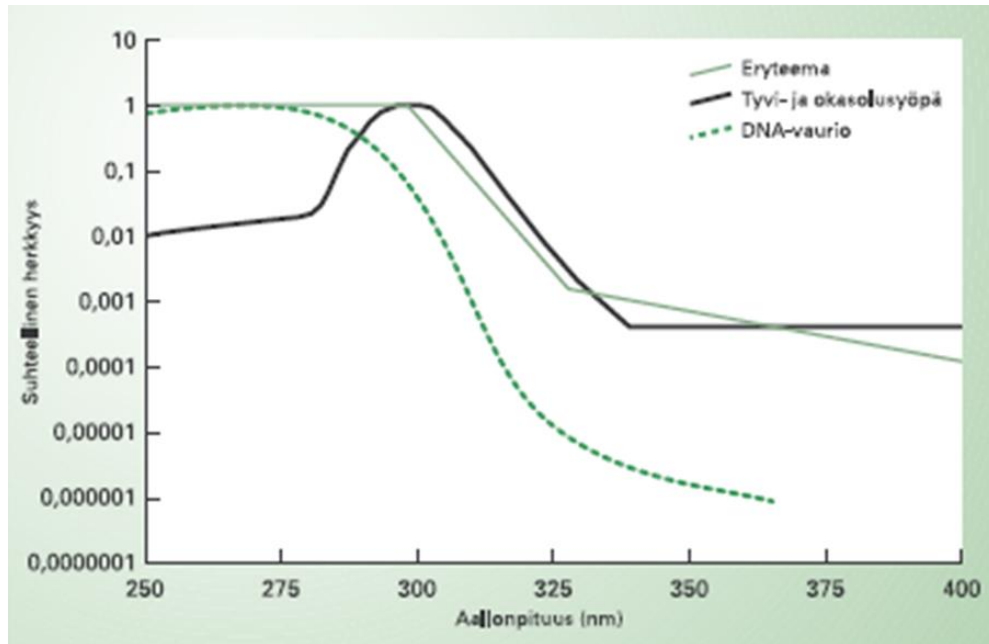
Biologisesti merkityksellisin UV-säteilyn teho on UV-B -alueella. Siten UV-B-säteily on tärkeimmässä roolissa puhuttaessa UV-säteilyn terveydellisistä vaiku-

tuksista. Tämä johtuu siitä, että valtaosa ihossa - kuten kaikkialla elimistössä – olevista atomeista on hiiliatomeja, joiden välillä on paljon konjugoituneita kaksoissidoksia, jotka absorboivat UV-säteilyä helposti. Konjugoitunut kaksoissidos on tilanne, jossa kaksi hiiliatomia, joilla on molemmilla kaksoissidos jonkun toisen hiiliatomin kanssa, ovat liittyneet toisiinsa yksinkertaisella sidoksella. Konjugoituneista kaksoissidoksista johtuen moni biomolekyyli absorboi hyvin UV-säteilyä. Molekyylien koko, sivuketjujen lukumäärä ja kaksoissidosten keskinäinen asema vaikuttaa siihen, mitä aallonpituutta molekyyli absorboi. (16)



Kuva 3. Hiiliatomien välillä oleva konjugoitunut kaksoissidos. (17)

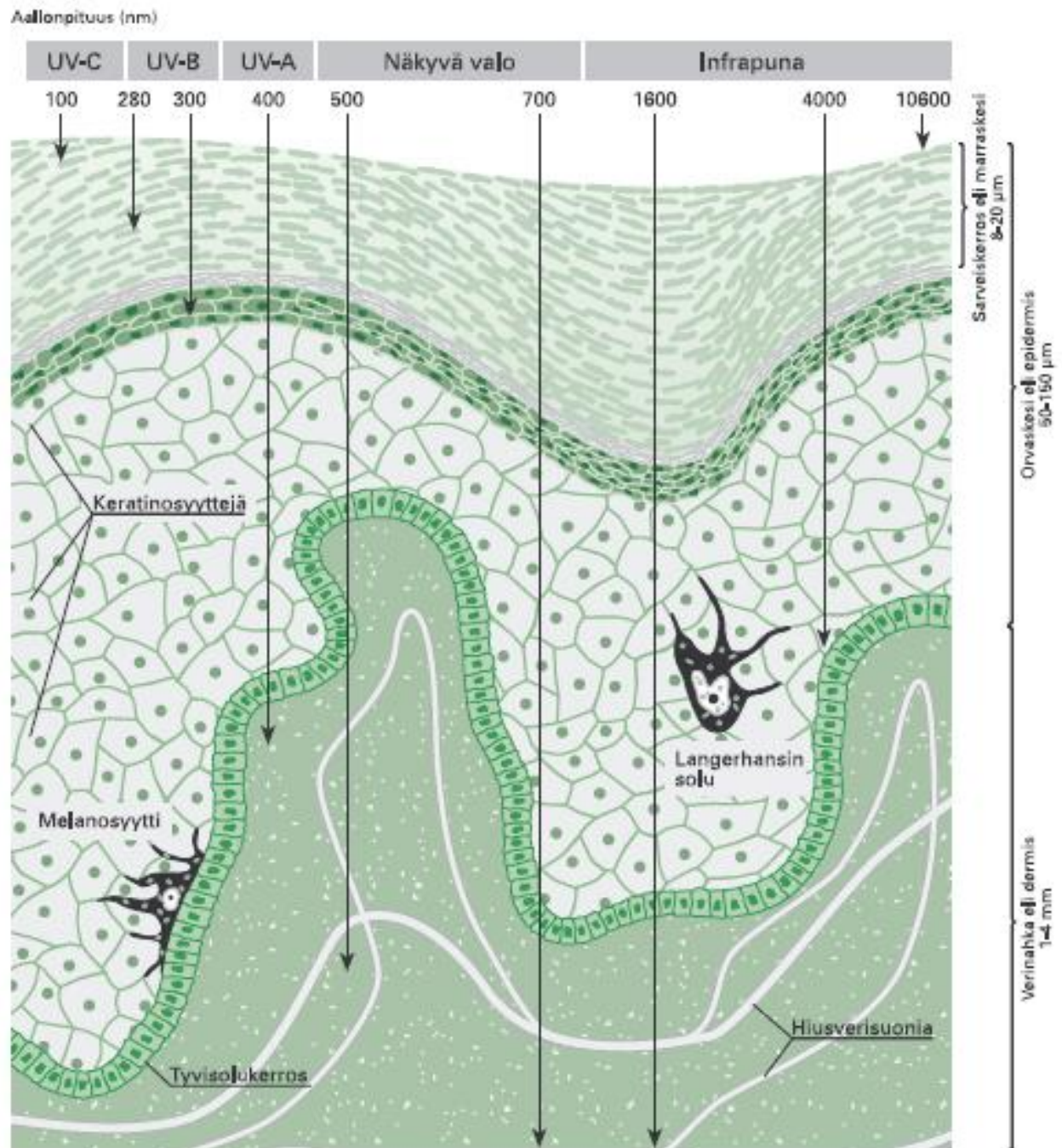
Erilaiset vauriot ilmenevät eri aallonpituuksilla, ja eri aallonpituudet vaikuttavat eri kohdemolekyyliin. DNA:n, proteiinien ja urokaanihapon absorptiomaksimit ovat aallonpituusvälillä 260-280 nm, joka on UV-C -aluetta. Tämä tarkoittaa, että UV-säteily vaurioittaa eniten DNA:ta, proteiineja ja urokaanihappoa aallonpituusvälillä 260-280 nm. Urokaanihappo on ihmisen iholla esiintyvä yhdiste joka toimii UV-valon suodattajana (Wikipedia, 2013). Ihon palaminen eli eryteema ja DNA-vauriot syntyvät herkimmin UV-C ja UV-B -alueella, ja tyvi- ja okasolusyövät syntyvät helpoimmin UV-B aallonpituuksilla. (16)



Kuva 4. Eri vaurioiden syntyherkkyys erilaisilla aallonpituuksilla. Y-akselin (suhteellinen herkkyys) arvo 1 tarkoittaa sitä, että kyseinen vaikutus tulee pienimmällä annoksella. Eryteema on ihon palaminen. Tyvi- ja okasolusyöpä on määritetty koe-eläimillä. (16)

Varsinkin punoitusta aiheuttavina annoksina UV-säteily saa aikaan immunosuppressiota eli immuniteetin alentumista elimistössä. (16)

Ihon kerrokset ovat uloimpana orvaskesi eli epidermis, johon kuuluu sarveiskerrokset eli marraskesi ja ihonalaiskerros eli subkutis, ja sisempänä verinahka eli dermis. Pitkäaaltoinen UV-säteily tunkeutuu ihoon lyhytaaltoista paremmin. Aallonpituudesta riippuu, minkä ihon kerroksen säteily tavoittaa. UV-B-säteily edistää ihosyöpien syntyä ja kehitystä enemmän kuin muut UV-säteilyn lajit, mutta myös UV-A ja UV-C vaikuttavat siihen. (16)

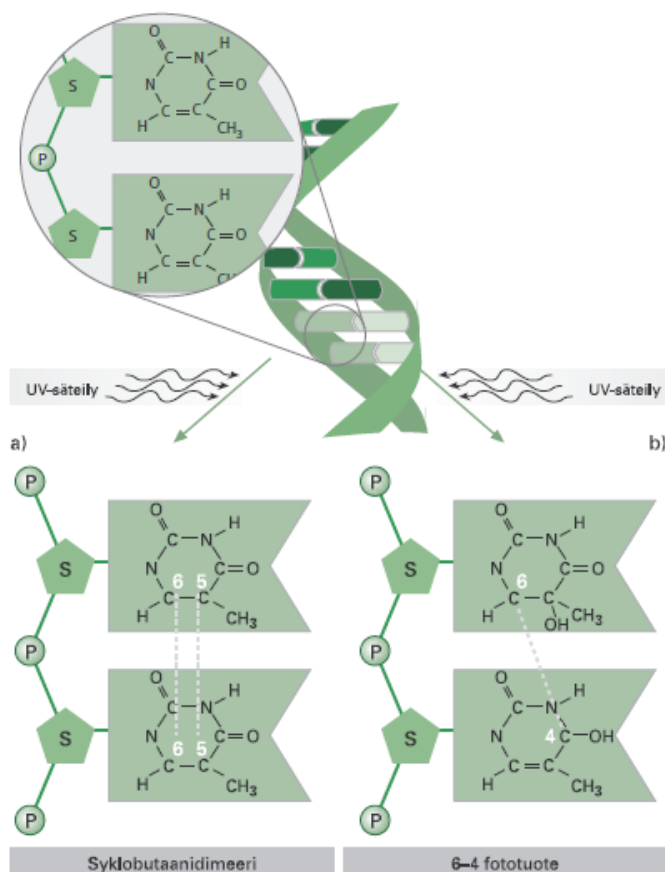


Kuva 5. Ihon rakenne ja optisen säteilyn pääsy ihoon. (16)

Ihotyyppi vaikuttaa yksilön herkkyyteen UV-säteilylle. Mitä vaaleampi iho, sitä herkempi se on UV-säteilyn haitallisille vaikutuksille ja sitä paremmin iho on suojattava säteilyltä. Punahiuksiset ja ihmiset, joilla on pisamia, ovat kaikkein herkimpiä UV-säteilylle. (16)

UV-säteily aiheuttaa ihon paksuuntumista ja ruskettumista sekä ihon ennenaikaista vanhenemista, ja jos annos on liian suuri joko hetkellisesti tai pitkäaikaisesti, se voi aiheuttaa myös ihottumaa, palamista ja erilaisia syöpiä: tyvisolusyöpä, okasolusyöpä ja melanooma. Ihon ruskettuminen ja sen paksuuntuminen ovat ihon suoja mekanismeja, eivät terveydelle haitallisia. (16)

UV-säteilyn haitallisista vaikutuksista solutason vauriot ilmaantuvat ennen näkyviä muutoksia ihossa. Esimerkiksi palamista edeltää DNA:n vaurioituminen. Kahden vierekkäisen emäksen välille voi muodostua syklobutaanidimeeri tai 6–4-fototuote. Solu pystyy kuitenkin hyvin korjaamaan nämä vauriot omilla mekanismeillaan. Tätä tapahtuu DNA:n kohdissa, joissa on paljon sytosiini- ja tymiini-emäksiä peräkkäin. Nämä vauriot voivat aiheuttaa DNA-ketjun emästen muuttumista joksikin toiseksi. Yleinen vaurio on sytosiinin muuttuminen tymiiniksi eli ns. C-T-transitio. (16)



Kuva 6. UV-säteilyn aiheuttamia vaurioita DNA:ssa. Syklobutaanidimeeri ja 6-4-fototuote. (16)

Silmä on erityisen herkkä UV-säteilylle. Aallonpituudesta riippuu, kuinka syvälle silmään UV-säteily pääsee. UV-C absorboituu kokonaan silmän sarveiskalvoon, eli uloimpaan osaan, samoin UV-B lähes kokonaan; siitä vain 305-315 nm osa pääsee mykiöön asti, ja tämä saattaa vaikuttaa harmaakaihin syntyyn. UV-A saavuttaa mykiön helposti, mutta mykiön solut eivät ole sille kovin herkkiä, ja se pystyy tunkeutumaan jonkin verran myös verkkokalvolle asti. (16)

Silmässä UV-säteily voi aiheuttaa harmaakaihia, silmän rappeumasairauksia ja jopa silmän melanoomaa. Akuutti altistuminen voimakkaalle UV-säteilylle aiheuttaa sarveiskalvon ja sidekalvon tulehtumisen eli lumisokeuden. Tämä ilmiö on selvässä yhteydessä UV-säteilyyn. Siitä ei jää käytännössä pysyviä vaurioita, vaan silmä uudistaa itse itsensä. Lumisokeuden aiheuttaa helpoimmin UV-C-säteily, erityisesti 270 nm ja vähintään annoksella 30–40 J/m². (16)

Taulukko 1. Eri UV-luokkien (A, B, C) vaikutuksia ihoon ja silmiin. Kaikkia vaikutuksia ei ole mainittu jokaisen aallonpituuden kohdalla erikseen, vaan on kerrottu vaikutukset jotka syntyvät nopeimmin kyseisellä UV-luokalla. Silti toisetkin UV-luokat voivat aiheuttaa näitä vaikutuksia. Myös UV-A vaikuttaa silmiin ja siltä pitää suojautua.

Aallonpituus Vaikutus	UV-A (320-400 nm)	UV-B (280-320 nm)	UV-C (100-280 nm)	A, B, C (100-400 nm)
Ihoon	Vanheneminen	Palaminen, tyvi- ja okasolusyöpä	Solujen DNA ja RNA, palaminen	Punoitus, immunitetin alentuminen, ihottuma, melanooma
Silmiin	Vaikuttaa eri tavoilla	Harmaakaihi	Lumisokeus	Silmän melanooma, rappeumasairaudet

UV-säteily pääsee silmiin sekä suoraan edestä että sivulta. Siksi sellaiset aurinkolasit, jotka suojaavat silmän myös sivusta tulevalta UV-säteilyltä, ovat tutkimus- ja teollisuuskäytössä ehdottoman tarpeelliset. (16)

Sairaus, perimä tai UV-säteilylle herkistävien lääkeaineiden käyttö tekee pienen osan väestöstä epätavallisen herkiksi UV-säteilylle, sekä sen akuuteille vaikutuksille että syövän riskille. Herkistyneiden henkilöiden suojaamiseksi tarvitaan tiukemmat rajat, kuin valtaväestölle asetetut. (2)

2.2.2 Vaikutukset materiaaleihin

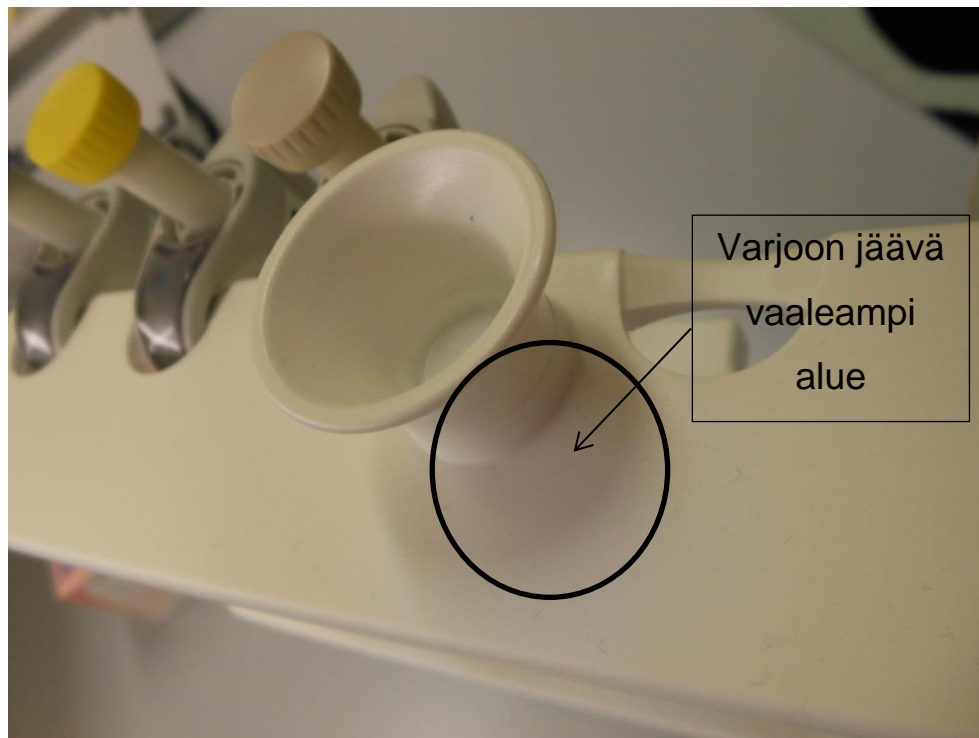
UV-säteily tuhoaa tuotteiden pintarakennetta, aiheuttamalla muun muassa haaleilua, haalistumista, värimuutoksia ja rakkuloitumista. Siitä koituu paljon kustannuksia. (18)

Desinfiointikäytössä olevien UV-lamppujen vaikutuksen ympäröivään materiaaliin näkee hyvin seuraavasta kuvasta. Siinä UV-säteily on värjännyt seinän keltaiseksi erityisesti noin 50 cm lampun alapuolelta. Kuva on eräästä jo käytöstä poistetusta seinään asennetusta UV-lampusta Wallacissa.



Kuva 7. Wallacissa erään nykyään jo käytöstä poistetun UV-lampun keltaiseksi värjäämä seinä.

Myös seuraavasta kuvasta nähdään, miten UV-säteily on värjännyt laboratorion muoviosia keltaiseksi. Valkoista alkuperäistä väriä ei ole lähes yhtään nähtävissä kuvan pipettitelineessä. UV-säteily tehoaa vain, kun se osuu suoraan kohteeseen. Kaikki kulman tai toisen esineen takana olevat osat jäävät siis UV-valon ulottumattomiin. Siitä johtuen myös alla olevassa kuvassa nähdään, että UV-valon ulottumattomiin jäävät kohdat ovat valkoisempia kuin muut.



Kuva 8. UV-säteilyn lähes kokonaan värjäämä pipettiteline. Vain varjoon jäävä osa on säilyttänyt jonkin verran valkoista väriään.

Muovisten suojalasien suojaominaisuuksiin UV-säteily ei vaikuta. Voimakas altistuminen voi tummentaa laseja vähän, mutta se vain tehostaa niiden UV-säteilyn suodatusta. (Wallacin optiikan ja fotonikan asiantuntija Markus Westerling 17.2.2015).

2.3 Lainsäädäntö

Laki määrittää työturvallisuuteen liittyvät velvoitteet työnantajalle. Lisäksi on olemassa erikseen säteilyturvallisuutta koskeva laki, joka on vain säteilyn käytön turvallisuuteen keskittyvä. Erilaisia standardeja ja säädöksiä on olemassa säteilyn käytölle yleisesti, mutta myös pelkästään ionisoimattoman säteilyn käytölle. UV-säteily on ionisoimatonta säteilyä.

2.3.1 Työturvallisuus ja laki

Peruslainsäädännössä on työnantajalla huolehtimisvelvollisuus, ja siksi on olemassa työturvallisuuslaki, joka velvoittaa huolehtimaan työntekijän turvallisuudesta. Työnantajan velvollisuuksiin kuuluu huolehtia työntekijöiden turvallisuudesta ja terveydestä työssä. Laki myös velvoittaa työntekijää käyttämään työnantajan tarjoamia suojautumisvälineitä ja noudattamaan työnantajan turvallisuusohjeita. (19)

Lain mukaan ”työpaikalla, jossa säännöllisesti työskentelee vähintään kymmenen työntekijää, työntekijöiden on valittava keskuudestaan työsuojeluvaltuutettu ja kaksi varavaltuutettua edustajikseen.” (20).

Laissa sanotaan, että ”työpaikalla, jossa säännöllisesti työskentelee vähintään 20 työntekijää, on perustettava kahdeksi kalenterivuodeksi kerrallaan työsuojelutoimikunta. Työsuojelutoimikunnassa ovat edustettuina työnantaja sekä työpaikan työntekijät.” Työsuojelutoimikunnan tehtävä on edistää työn turvallisuutta ja terveellisyyttä työpaikalla. (20)

Wallacissa toimii työsuojelutoimikunta. Työntekijöillä ja toimihenkilöillä on kummallakin oma työsuojeluvaltuutettu sekä kaksi varavaltuutettua. Toimihenkilöiden työsuojeluvaltuutetun vastuulla ovat myös ylemmät toimihenkilöt. Työsuojelutoimikuntaan otetaan ensiksi yhteyttä, jos työssä tulee työturvallisuuteen liittyviä ongelmatilanteita tai epäkohtia. Työsuojelutoimikunta vie asian eteenpäin yrityksen johdolle.

Wallacissa toimii myös työturvallisuusorganisaatio, joka on asiantuntija kaikkien työturvallisuuteen liittyvässä. Laki ei edellytä työturvallisuusorganisaatiota työpaikalla, vaan yritys voi halutessaan itse perustaa sellaisen. Työturvallisuusorganisaatio antaa johdolle neuvoja ja ohjeita tilanteissa, joissa on työturvallisuusriskejä.

2.3.2 UV-säteilyturvallisuutta koskeva laki

Suomessa säteilyn käyttöä säätelee säteilylaki (592/1991). Siinä kerrotaan, millainen säteilyn käyttö on turvallista ja hyväksyttävää. Säteilylakia täsmentävät säteilyasetus ja säädökset. (21) Työntekijöiden altistumista koskevat turvallisuusnormit annetaan pääsääntöisesti työturvallisuuslain nojalla ja väestöä koskevat normit annetaan säteilylain nojalla (22).

Vastuu säteilyn käytön turvallisuudesta on toiminnan harjoittajalla. Säteilyturvakeskus (STUK) valvoo määräysten noudattamista ja antaa säteilyturvallisuusohjeet (ST-ohjeet). Lain edellyttämät säteilyturvallisuusvaatimukset täyttyvät näitä ohjeita noudattamalla. (21)

Myös EU säätelee säteilyturvallisuutta. Asetukset, direktiivit ja päätökset ovat lakia EU:n tasolla ja velvoittavat jokaista jäsenmaata. (21)

Kansainvälinen säteilysuojelutoimikunta (ICRP) ja Kansainvälinen atomienergiajärjestö (IAEA) antavat myös ohjeita, jotka ovat suositusluonteisia. (21)

Säteilylaki vaatii toiminnanharjoittajalta, että ”poikkeavaan säteilyaltistukseen johtavan tapahtuman vaara on riittävän tehokkaasti estetty. Toiminnan harjoittaja on velvollinen toteuttamaan sellaiset toimenpiteet säteilyturvallisuuden parantamiseksi, joita niiden laatuun ja kustannuksiin sekä säteilyturvallisuutta parantavaan vaikutukseen katsoen voidaan pitää perusteltuina.” (23)

Yleiset vaatimukset UV-säteilyn käyttöön liittyen ovat sosiaali- ja terveysministeriön asetuksen perusteella seuraavat: ”Ultraviolettisäteilyä synnyttävien laitteiden aiheuttama säteilyaltistuminen on pidettävä sellaisena, ettei lyhytaikaisesta altistumisesta aiheudu välittömiä terveyshaittoja ja pitkäaikaisesta altistumisesta aiheutuvat terveyshaitat ovat mahdollisimman vähäisiä.” (24)

Lisäksi koulutusta pitää järjestää henkilöille, jotka ovat tekemisissä säteilylähteiden kanssa. Säteilylaki määrää, että ”toiminnan harjoittaja on velvollinen järjestämään toiminnan laadun ja laajuuden mukaan suunniteltua koulutusta säteilylähteiden käyttöön osallistuville henkilöille. Koulutuksessa tulee säteilylähteiden

den käytön edellyttämien tietojen ja taitojen ohella korostaa turvallisuutta ja laadunhallintaa normaalista poikkeavien tapahtumien ennalta ehkäisemiseksi.” (23)

Optisen säteilyn direktiivi (2006/25/EY) määrittelee voimassa olevat raja-arvot UV-säteilylle. Sen perusteella on tehty asetus 146/2010, joka määrittää raja-arvot sallitulle altistukselle. Ne perustuvat ICNIRP:n (The International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection/ kansainvälinen ionisoimattomalta säteilyltä suojautumisen komissio) suosituksiin. Työnantajalla on asetuksen mukaan velvollisuus arvioida riskejä, hallita ja tiedottaa niistä, ja kouluttaa ja seurata työntekijöiden terveydentilaa. (6)

Asetuksessa sanotaan, että tietyt laitteet pitää esittää säteilyturvakeskukselle tarkistettavaksi ennen niiden käyttöönottoa, mikäli ne täyttävät asetuksessa esitetyt ehdot. Näitä laitteita ovat radio- ja tutkalaitteet, suurtehoiset laserlaitteet ja solariumlaitteet. Näiden laitteiden lisäksi säteilyturvakeskus voi tarkastaa muunkin laitteen, joka voi ylittää enimmäisarvot ja josta ei ole säädetty muussa laissa, säädöksissä tai määräyksissä. UV-säteilyä tuottavia teollisuudessa ja tutkimuksessa käytettäviä laitteita ei tarvitse lain perusteella normaalisti tarkistuttaa säteilyturvakeskuksella. (25)

2.3.3 Standardit ja säädökset

UV-säteilyn käytölle löytyy erilaisia viranomaisten tekemiä standardeja, jotka antavat neuvoja siitä, miten laki voidaan toteuttaa käytännössä. Suomessa sosiaali- ja terveysministeriö vastaa lainsäädännöstä noudattaen myös EU:n taholta tulevia direktiivejä ja asetuksia. Lisäksi kansainväliset asiantuntijajärjestöt laativat standardeja, jotka otetaan huomioon lainsäädännössä. Asiantuntija- ja standardointijärjestöjä ovat kansainvälinen ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection), kansainvälinen CIE (Commission Internationale de l'Eclairage) ja pohjois-amerikkalainen ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists). (2)

Suomen Standardisoimisliitto (SFS), Suomen Sähköteknillinen Standardisoimisyhdistys ry (SESKO) ja Telehallintokeskus (THK) valvovat suomalaisia ja kansainvälisiä standardeja. (21) Standardit eivät ole vapaasti saatavilla, vaan ne pitää ostaa erikseen. Alla on esimerkkejä olemassa olevista UV-säteilyn käyttöön liittyvistä standardeista.

- CIE S009:2002
Kansainvälisen valaistuskomitean CIE:n epäkoherenttia optista säteilyä koskeva standardi
- EN ISO 16474-3:2013
Paints and varnishes. Methods of exposure to laboratory light sources. Part 3: Fluorescent UV lamps
(Maalit ja lakat. Laboratorion valonlähteille altistumisen menetelmiä.
Osa 3: Fluoresoivat UV-lamput)
- 83.080.01
Muovit ja niiden testausmenetelmät
- SFS-EN ISO 4892-3:2013
Plastics. Methods of exposure to laboratory light sources. Part 3: Fluorescent UV lamps
(Muovit. Laboratorion valonlähteille altistumisen menetelmiä.
Osa 3: Fluoresoivat UV-lamput)
- SFS-EN 12198-3+A1
Koneturvallisuus. Koneiden säteilypäästöjen riskien arviointi ja vähentäminen.
Osa 3: Säteilyn vähentäminen vaimentamalla tai suojaamalla
- CISPR 15 ed8.0
Limits and methods of measurement of radio disturbance characteristics of electrical lighting and similar equipment.
(Rajat ja menetelmät elektronisen valaistuksen ja samankaltaisten laitteiden radiohäirinnän ominaisuuksien mittaamisessa)
- EN 14255-1:2005 (WI=00169021)

Measurement and assessment of personal exposures to incoherent optical radiation - Part 1: Ultraviolet radiation emitted by artificial sources in the workplace

(Inkoherentin optisen säteilyn annosmittaus ja arviointi - osa 1: keinote-koisten lähteiden tuottama ultraviolettisäteily työpaikalla)

- EN 170 "Ultraviolet filters "
(UV-suodattimet. Tämä standardi kertoo suojautumisesta)
- EN ISO 7010 Ionisoimattoman säteilyn varoitusmerkit

2.3.4 UV-säteilyn altistumisrajat, laskukaava ja säteilymittaus

Työpaikalla tapahtuva altistuminen UV-säteilylle on normaalin väestöaltistumisen (auringosta saatava UV-säteily) lisä, ja siksi se on pyrittävä pitämään mahdollisen alhaisena, jotta UV-säteilyannos ei pääse kasvamaan terveydelle haitalliselle tasolle. (2)

Suomessa nykyään voimassa olevat sosiaali- ja terveysministeriön päätöksessä esitetyt enimmäisarvot perustuvat kansainvälisen ionisoimattoman säteilyn komission (ICNIRP) suosituksiin. (26)

Taulukko 2. UV-säteilyn altistumisrajat väestölle ja työntekijöille päivää kohden.
(2)

Kohderyhmä	Säädös	Kohde-elin	Vaikutusspektri	Annos/aika ($H_{eff}/aika$)
Väestö	STM:n asetus 294/2002	Iho	CIE	50 J/m ² / vrk
		Silmä	ICNIRP	30 J/m ² / vrk
		Silmä	UV-A-aallonpituudet 315–400 nm, ei painotusta	10 kJ/m ² / vrk
Työntekijät	STM:n päätös 1474/1991	Iho	CIE	50 J/m ² / vrk
		Silmä	CIE	50 J/m ² / vrk
		Silmä	UV-A- aallonpituudet, ei painotusta	10 W/m ² ~17 min. keskiarvona
Työntekijät	EU-direktiivi 2006/25/EY (tulee voimaan v. 2010)	Iho	ICNIRP	30 J/m ² / 8 h
		Silmä	ICNIRP	30 J/m ² / 8 h
		Silmä	UV-A-aallonpituudet 315–400 nm, ei painotusta	10 kJ/m ² / 8 h

Taulukon perusteella uusimmat UV-säteilyn maksimiraja-arvot työntekijöille ovat vuonna 2010 voimaan tulleen EU-direktiivin mukaiset, ja ne ovat seuraavat. Iholle raja on korkeintaan 30 J/m²/8 h. Silmälle suurin sallittu annos on 30 J/m²/8 h ja toisaalta 10 kJ/m²/8 h aallonpituusalueella 315 - 400 nm. Viimeinen lukema on ilman painotusta toisin kuin muut. Painotus tarkoittaa sitä, että kullekin aallonpituudelle on annettu niin sanottu herkkyyskerroin, joka on välillä 0-1 ja joka kertoo sen, kuinka haitallista aallonpituus on iholle tai silmille. Mitä lähempänä ykköstä kerroin on, sitä haitallisempaa aallonpituuskin on. UV-A-aallonpituuksille 315-400 nm ei tässä ole silmän kohdalle painotusta eli kerroin on yksi. Luku on toisaalta paljon suurempi kuin muille aallonpituuksille määritetyt rajat. Se on 10 kJ/m²/8 h kun muille se on 30 J/m²/8 h.

Säteilyannos ilmoittaa säteilyn aiheuttaman terveydellisen haitan (27). Efektivi-sellä annoksella tarkoitetaan laskennallista annossuuretta, jolla kuvataan säteilyn aiheuttamaa terveydellistä kokonaishaittaa. Terveydellinen kokonaishaitta

tarkoittaa paitsi riskiä sairastua kuolemaan johtavaan syöpäkasvaimeen, myös muita syöpäsairauksia sekä geneettistä riskiä. (28)

UV-säteilylähteen haitallisuus voidaan laskea kaavalla. Sillä voi laskea, kuinka kauan tietyllä etäisyydellä säteilylähteestä voi oleskella, ennen kuin raja-arvo säteilyn haitallisuudelle ylittyy. Haitallisuus kasvaa sitä enemmän mitä lähempänä lähdettä ollaan. (3)

UV-säteilyannoksen laskemiseksi voidaan käyttää kaavaa, joka on aallonpituusvälillä 180-400 nm. (3) Wallacin säteilylähteet ovat välillä 250 – 400 nm. Kaikkien säteilylähteiden aallonpituutta ei tiedetä tarkasti, vaan pelkästään säteilyn laji A-, B- tai C saatetaan ilmoittaa.

Seuraavaa kaavaa käytetään laskussa:

$$H_{\text{eff}} = \Delta t * \int S(\lambda)E(\lambda)d\lambda$$

Kaava antaa tulokseksi säteilyannoksen (H_{eff}) eli energiatiheuden, ja sen yksikkö on J/m^2 . Annoksen laskemiseksi tarvitaan seuraavat tiedot säteilylähteestä: aallonpituusväli (λ), spektrinen irradianssi $E(\lambda)$, spektrinen herkkyyserroin $S(\lambda)$, joka löytyy kirjallisuudesta ja on laaduton ja kuvaa ihon herkkyyttä aallonpituuden suhteen, ja säteilylle altistumisaika (Δt). Spektrinen irradianssi $E(\lambda)$ riippuu aallonpituudesta. Jos säteilylähde lähettää laajan spektrin eri aallonpituuksia, spektrinen irradianssi on summa kustakin yksittäisestä aallonpituudesta erikseen. E on irradianssi eli tietylle pinta-alalle tuleva säteilyteho ja sen yksikkö on W/m^2 . Spektrinen irradianssi $E(\lambda)$ on irradianssi E , jossa on otettu huomioon aallonpituus. Sen yksikkö on $\text{W/m}^2\text{nm}$. (3)

Usein spektristä irradianssia $E(\lambda)$ ei ole tiedossa. Se saadaan laitteen valmistajalta. Kaava on vaikeakäyttöinen sellaisten lähteiden kohdalla, jotka säteilevät laajalla spektrillä. Tämän takia mittaus on ainoa luotettava tapa saada selville säteilylähteen aiheuttama altistus. (Optiikan ja fotonikan asiantuntija Markus Westerling 16.2.2015)

Kaavaan tarvitaan siis säteilylähteen ulos lähettämä säteilyteho, aallonpituus, kohteen etäisyys ja altistusaika.

Lamppu voi lähettää säteilyä tietyllä aallonpituusvälillä, mutta se mille käyttäjä altistuu, riippuu myös esimerkiksi suodattimista, jotka ovat lampun ja käyttäjän välissä. Esimerkiksi ns. flash-lamppu, jota Wallacissa käytetään eräissä laitteissa, lähettää 220-2000 nm aallonpituusvälillä säteilyä, ja laitteessa on suodatin, jonka jälkeen ulos säteilee enää vain aallonpituuksia, jotka ovat suunnilleen välillä 280-380 nm.

Säteilylaki sanoo säteilyn mittauksesta seuraavaa: ”Säteilyaltistuksen arvioimiseksi ja turvallisuuden varmistamiseksi tarpeelliset mittaukset on tehtävä luotettavaksi todetulla menetelmällä. Mittaukseen käytettävän säteilymittarin tai säteilyn mittauslaitteiston on oltava asianmukaisesti kalibroitu.” (23)

Työterveyslaitoksella on säteilymittari ja siihen erilaisia antureita, joilla TTL:n työntekijät voivat tulla mittaamaan UV-säteilylähteiden säteilyä maksusta ja yritysten pyynnöstä (Työterveyslaitoksen asiantuntija Riikka Helenius, 6.2.2015). Antureita on UV-A, UV-B ja UV-C -säteilylle. UV-C on haitallisinta, joten sen mittaaminen on tärkeintä paikoissa, joissa säteilyn tarkkaa vahvuutta ei tiedetä.

UV-C-anturi antaa tulokseksi tiedon siitä, kuinka kauan työntekijä voi olla mittauskohdassa ennen kuin hän saa terveydelle haitallisen säteilyannoksen. Haitallinen annos on ACGIH:n (American Conference of Industrial Hygienists) määrittelemä, ja se on 3 mJ/cm^2 8 tunnin aikana, ja tätä säteilyannosta työntekijä pysyy sietämään jopa päivittäisenä ilman että se aiheuttaa terveysongelmia pitkäläkään ajalla. (29). Tämä raja vastaa EU-direktiivin 2006/25/EY määrittelemää rajaa ($30 \text{ J/m}^2/8 \text{ h}$) (taulukko 2 s. 29).

Asetuksessa todetaan: ”Altistumisen arviointi, mittaus ja laskenta on suunniteltava ja toteutettava asianmukaisesti sekä suoritettava sopivin väliajoin. Arvioijan, mittaajan ja laskijan tulee olla työterveyshuollon tai työhygienian asiantuntija tahi muu työnantajan palveluksessa oleva tai ulkopuolinen henkilö, jolla on tarvittava kyky ja taito arvioida, mitata ja laskea optista säteilyä”. (30) Mittauksen voi siis suorittaa myös yrityksen oma henkilökunta, kunhan vain opastus siihen on riittävä.

2.3.5 Suojautuminen ja varoitusmerkinnät

Suojautumisen tarkoitus on välttää UV-säteilylle määriteltujen altistumisrajojen ylittyminen. Suurin riski turvallisuudelle on se, että työntekijä menee tietämättään tilaan, jossa on UV-säteilyä ja altistuu sille. Siksi varoitusmerkintöjen olisi oltava asianmukaisia. Suojautuminen joudutaan arvioimaan tapauskohtaisesti joka säteilylähteen kohdalla erikseen, koska UV-lampun voimakkuuden ja aallonpituusalueen lisäksi myös laitteen rakenne vaikuttaa sen tuottamaan UV-säteilyyn. (10)

Suojaututtaessa on hyvä muistaa kirjainyhdistelmä ASE, joka tulee sanoista Aika, Suoja ja Etäisyys. Säteily leviää huoneessa samalla tavoin kuin valo. Se on voimakkainta säteilevän kohdan lähellä ja heikkenee välimatkan kasvaessa. Säteilyn vaikutus loppuu heti, kun sen piiristä poistutaan. (21)

Suojautumisen tarve perustuu säteilymittaustuloksiin. Jos mittauksen perusteella on altistumisvaara, suojautumistoimenpiteitä aletaan suunnitella.

Iho ja kasvot tulee suojata. Erilaisia suojautumismahdollisuuksia ovat pitkähihaiset ja -lahkeiset vaatteet kuten laboratoriotakki, käsineet ja suojalasit tai visiri.

Monet materiaalit suodattavat UV-säteilyä. Tavallinen ikkunalasi suodattaa tehokkaasti UV-B ja -C -säteilyä. Viereisessä laboratoriossa olevasta UV-säteilylähteestä ei tule mittauksen perusteella UV-säteilyä ikkunan läpi toiseen huoneeseen.

Varoitusmerkkiä käytetään silloin kun on tarpeellista kertoa UV-säteilyn aiheuttamasta vaarasta tai haitasta ja erityisesti silloin jos on mahdollista, että raja-arvot voivat ylittyä. UV-säteilylle ei ole olemassa omaa lain määrittämää kuvatunnusta. Sille voidaan käyttää optisen säteilyn kuvatunnusta lisätekstin ”UV-säteily” kanssa. Lisäteksti tarvitaan, koska samaa tunnusta käytetään UV-säteilyn lisäksi myös infrapunasäteilystä ja näkyvästä valosta. (31)



Kuva 9. Optisen säteilyn varoitusmerkki. (31)

2.3.6 UV-säteilyyn liittyvän lain soveltaminen Wallacilla

Wallacin UV-säteilylähteiden tuottamat säteilyannokset voidaan teoriassa laskea kaavalla tai mitata säteilymittarilla. Käytännössä arviointi tehtiin mittaamalla, koska kaavan käyttö oli hankalaa ja antoi vain teoreettisen vastauksen. Se ei esimerkiksi ottanut huomioon UV-lamppujen käyttöikää, joka vaikuttaa niiden lähettämään säteilyyn. Tuloksia tullaan vertaamaan sallittuihin enimmäisannoksiin työntekijöille. Laitteen käyttötarkoitus ja käyttöaika huomioidaan tapauskohtaisesti. Näiden perusteella selvitetään, altistuuko joku työntekijä liian suurelle säteilyannokselle kyseisen lähteen parissa työskennellessään, ja sen perusteella päätetään tarpeelliset suojautumistoimenpiteet. Varoitusmerkinnät säteilylähteille muutetaan laissa määritellyn tavan mukaisiksi. Käytetään optisen säteilyn kuvatunnusta ja sen vieressä lisätekstiä ”UV-säteily”. Wallaciin ostettiin standardi EN 14255-1:2005, joka antaa neuvoja ja vinkkejä työntekijän UV-altistuksen mittaamiseen ja arviointiin työpaikalla. UV-säteilymittaus tehtiin työterveyslaitoksen ohjeiden sekä mittarin käyttöohjeen mukaan ja suunnitteleamalla oleelliset mittauspisteet. Mittaus ei enää kuulunut tämän opinnäytetyön alueeseen, joten mittaustuloksia ei esitellä tarkemmin tässä työssä.

3 TYÖN TAVOITE

3.1 Alkutilanne

Wallacissa sattui vuonna 2011 UV-säteilyn takia läheltä piti -tilanne, josta tehtiin Liki Liippas -ilmoitus. Työntekijä oli ottanut käyttökieltoon asetetun UV-C-säteilyä tuottavan lampun, ja laittanut sen yöksi laboratorion laminaarikaappiin, jonka suojaileksi ei sulkeutunut alas asti ja josta näin ollen pääsi säteilyä huoneeseen. Huoneen ulkopuolella ei ollut varoitusmerkintöjä UV-säteilystä, eikä myöskään UV-lampussa ollut merkintää. Näin ollen muut laboratoriossa työskentelevät olisivat voineet altistua UV-säteilylle.

Tapauksesta johtuen haluttiin tehdä työturvallisuuskartoitus kaikista Wallacissa olevista UV-säteilylähteistä, jotta mahdolliset muut riskikohteet löytyisivät ja vastaavanlaiset tilanteet saataisiin ehkäistyä. UV-säteilyn työturvallisuusriskeistä haluttiin myös tiedottaa paremmin ja laittaa varoitusmerkinnät kuntoon. Kaikki talossa olevat laitteet, joita ei ole merkitty, haluttiin kartoittaa ja joko merkitä tai poistaa käytöstä.

Vuonna 2013 tehtiin ensimmäinen kartoitus, ja sen jälkeen päivitys vuonna 2014. Tämä oli kolmas kerta, kun UV-säteilylähteet kartoitettiin.

3.2 Tavoitteet teorialle

Teoriaosuuden tarkoituksena oli hakea yleistä tietoa UV-säteilystä ja sen käytöstä sekä selvittää UV-säteilyn työturvallisuusriskien taustaa eli UV-säteilyn vaikutuksia työntekijän terveyteen.

Toinen tavoite oli selvittää, mitä laki sanoo UV-säteilyn käyttöön liittyvästä työturvallisuudesta. Haluttiin tietää, miten tulee suojautua. Tavoitteena oli myös löytää erilaisia standardeja, joista saadaan käytännön neuvoja työturvallisuuden toteuttamiseksi ja parantamiseksi. Neuvoja tullaan soveltamaan Wallacin UV-säteilyturvallisuuden parantamiseksi niiltä osin kuin parantamisen varaa löytyy.

3.3 Tavoitteet käytännön työlle

Tarkoituksena oli etsiä jokainen Wallacissa käytössä oleva UV-säteilylähde, käydä katsomassa se paikan päällä, ja listata lähteet valmiiseen excel-pohjaan. Excel-taulukkoon haluttiin tärkeimmät tiedot UV-säteilylähteistä. Lähes jokainen lähde valokuvattiin. Tavoitteena oli selvittää, ovatko lähteiden varoitusmerkinnät ja työntekijöiden suojaus kunnossa ja elleivät ole, määrätä toimenpiteet jatkolle. Tieto lähteiden sijainnista oli oleellinen. Laitteiden olinpaikat piti mennä tarkistamaan uudelleen edellisen kartoituksen jäljiltä, sillä jotkin UV-säteilylähteet ovat liikuteltavia, ja toiset oli saatettu poistaa käytöstä edellisen kartoituksen jälkeen. Lähteitä oli myös voinut unohtua kokonaan aikaisemmasta kartoituksesta.

4 KÄYTÄNNÖN TYÖ

4.1 Kuvaus Wallacin UV-säteilylähteiden kartoituksen toteutuksesta

Kartoitus toteutettiin käytännössä kyselytutkimuksena. Ryhmälle ”Esimiehet” ja ”Päälliköt” lähetettiin sähköposti, jossa kysyttiin onko heidän vastualueellaan UV-säteilylähteitä, ja siitä pyydettiin ilmoittamaan sähköpostitse. Vastaus pyydettiin joka tapauksessa, vaikka lähteitä ei olisi, eli ei hyväksytty vastaamattomuutta. Muistutussähköposteja lähetettiin noin 6 kappaletta. Sen jälkeen kaikki olivat kommentoineet joko ”kyllä” ja kertoneet tarkemmin säteilylähteistään, tai ”ei”, jolloin ei kysely enempää.

Esimiesten organisaatioissa käytiin katsomassa jokainen säteilylähde paikan päällä. Niistä otettiin valokuvat, jotka tallennettiin yrityksen myöhempää käyttöä tai arkistointia varten. UV-säteilylähteiden tiedot saatiin joko esimiehiltä tai suoraan valmistajalta.

4.2 Wallacin UV-säteilylähteet

Wallacin UV-säteilylähteet on luokiteltu työturvallisuusriskin sisältäviin ja turvallisiin UV-säteilylähteisiin sen mukaan, onko työntekijän mahdollista altistua niiden kanssa työskennellessään UV-säteilylle. Monissa laitteissa on sisällä UV-lamppu, esim. spektrofotometreissä, mutta haitallinen UV-säteily ei tule laitteen sisäpuolelta ulos. Näissä tapauksissa työntekijä ei altistu UV-säteilylle työssään, ja laite katsotaan turvalliseksi. UV-säteilyltä suojautumista ei siis erikseen tarvita.

Työturvallisuusriskin mahdollisuuden aiheuttavia UV-säteilylähteitä löytyi 27 kappaletta, ja ne listattiin excel-taulukkoon tärkeimpien teknisten tietojen kanssa. Koska excel-taulukossa on yksityiskohtainen kuvaus Wallacissa käytettävistä UV-säteilylähteistä, se kuuluu salassapitovelvollisuuden piiriin eikä sitä siksi julkaista tässä opinnäytetyössä.

Wallacista löytyi lisäksi lukuisa joukko työturvallisuuden kannalta turvallisia laitteita, jotka sisältävät UV-säteilylähteen. Tällaisia ovat esimerkiksi spektrofotometrit tai vedenpuhdistuslaitteistot. Niitä ei kuitenkaan laskettu eikä valokuvattu, eivätkä ne aiheuta työturvallisuusriskiä.

4.2.1 Wallacin työturvallisuusriskiä aiheuttavat UV-säteilylähteet

Wallacin työturvallisuuden kannalta merkittävät 37 UV-säteilylähdettä ovat esimerkiksi seuraavia: laminaarikaappien UV-lamppuja joita käytetään laminaarikaapin desinfioimiseen, liikuteltavia pöytä-UV-lamppuja joilla kuvataan esimerkiksi TLC-levyjä, kiinteitä UV-lamppuja seinässä tai katossa, tai laitteissa sisällä olevia UV-lamppuja joiden säteilylle laitetta kokoava työntekijä voi altistua.

Optiikkalaboratoriossa on muutama käytöstä poistettu säteilylähde, jota ei ole merkitty tunniste- eli SOTU-numerolla ja joissa ei myöskään ole erillistä UV-säteilystä varoittavaa varoitusmerkkiä.

Wallacin säteilylähteistä tehtiin päivitetty versio Excel-taulukosta, johon listattiin kaikki talossa olevat UV-säteilylähteet.

Lähteistä koottiin seuraavat asiat:

- **Tila.** Määrittää alueen, jolla laite sijaitsee rakennuksessa. Wallac on jaettu 7 alueeseen, W1-W8, W7 puuttuu.
- **Toiminto.** Tarkoittaa sen osaston tai huoneen toimintoa, jossa laite on.
- **Huonenro.** Sen huoneen numero, jossa laite sijaitsee. Huoneet on numeroitu kerroksen mukaan.
- **Laite.** Laitteen nimi ja merkinnät.
- **UV-lampun merkinnät / teho.** Merkittiin teho watteina.
- **UV-säteily (A/B/C).** UV-säteilyn luokka. UV-A on 315-380 nm, UV-B on 280-315 nm ja UV-C on 100-280 nm.
- **Sotu numero.** Jokainen laite yrityksessä on numeroitu.
- **Käyttötarkoitus ja -aika.** Mihin laitetta käytetään, kuinka usein ja kuinka pitkän aikaa kerrallaan.

- **Varoitusmerkinnät.** Onko kunnossa.
- **Ohjeistus.** Tarvitseeko olla erityisohjeet.
- **Perehdytys.** Onko tarvetta ja onko tehty.
- **Koulutusrekisteri.** Onko tarvetta koulutukselle ja milloin tehty.
- **Toimenpiteet.** Mitä pitää tehdä jatkossa.
- **Esimies.** Kuka on osaston esimies.
- **Kommentti.** Vapaamuotoinen kommentti.
- **UV-säteilymittaus.** Milloin tehty ja linkki tuloksiin.

Mahdollisia tarpeellisia toimintaehdotuksia jatkoon olivat esimerkiksi romuttaminen, laitteen merkitseminen UV-varoitustarralla, tai sen varmistaminen kuka osaa käyttää laitetta.

4.2.2 Wallacin muut UV-säteilylähteet

Wallacissa käytetään työturvallisuusriskiä aiheuttavien UV-säteilylähteiden lisäksi paljon laitteita, jotka sisältävät UV-säteilylähteen, kuten spektrofotometrit, HPLC-laitteet ja vedenpuhdistuslaitteistot. Näissä kaikissa lähde on laitteen sisällä eikä työntekijä altistu siitä tulevalle UV-säteilylle. Laitteita kuitenkin huolletaan, ja laitehuoltaja saattaa altistua laitteen UV-säteilylle. Vastuu oikeiden työtapojen kouluttamisesta, jotta altistuminen voidaan ehkäistä, on huoltoyrityksellä, joka vastaa huolloista. Tässä työssä puututtiin vain talossa työskentelevien työntekijöiden turvallisuuden kannalta oleellisiin laitteisiin. UV-lähteen sisältävistä laitteista tullaan tekemään yksi säteilymittaus, jolla varmistetaan, ettei laitteista todellisuudessa pääse säteilyä ulos.

Joissain laminaarikaapeissa (esim. mikrobiologian laboratoriossa) on sähköpistoke, eli on mahdollisuus asentaa UV-valo, mutta niissä ei ole UV-lamppua. Kyseisissä tapauksissa ei ole työturvallisuusriskiä.

Varastossa on joitain lähteitä kuten spektrofotometri, joita ei ole merkitty tunnisteen eli SOTU-numerolla mutta joiden parissa työskennellessään työntekijä ei altistu UV-säteilylle, koska säteilylähde on laitteen sisällä. Nämä ovat kotimaan

huolto -organisaation laitteita eivätkä aiheuta työturvallisuusriskiä. Laitteet ovat siis sellaisia, joissa UV-lamppu on sisällä eikä säteilyä pääse ulos, kuten esimerkiksi sektrofotometrejä. Ne ovat lisäksi lukitus tilassa, jonne pääsevät vain määrätty henkilöt, eivätkä laitteet ole normaalisti päällä. Laitteita käytetään pelkästään koekäyttöön ja tähänkin vain muutaman kerran vuodessa.

4.3 Suojautuminen ja muut huomioitavat asiat Wallacilla

Samassa tilassa työskentelevät, kommunikointi, koulutus, perehdytys, ym.

Wallacissa on käytössä riskinarviointimenetelmä, jossa arvioidaan sekä UV-että optisen säteilyn riskiä, eikä koskaan ole tullut riskiä. Riskinarviointivelvollisuus optisen säteilyn riskinarvioinnista tarkoittaa käytännössä auringon säteilyä. (Työsuojeluasiantuntija Janne Ahonen, 6.2.2015).

4.3.1 Suojautuminen Wallacilla

Wallacilla suojaudutaan UV-säteilyltä eri tavalla eri paikoissa. Monessa paikassa on UV-säteilylähteen mukana siltä suojautumiseen tarkoitettut välineet, kuten suojalasit, ja laboratorioissa täytyy käyttää labratakkia. TTL:n edustajan kanssa on myös keskusteltu sähköpostitse, olisiko laminaareihin hyvä asentaa suojapleksit, jotka ulottuvat kaapin alareunaan asti. Silloin yhtään säteilyä ei pääsisi tulemaan läpi kaapista.

Suojautumisesta on ollut myös ristiriitaista tietoa. Ei ole tiedetty, tuleeko jostain lähteestä UV-säteilyä, ja tuleeko sitä työturvallisuuden kannalta merkittävä määrä. Esimerkiksi tilanteessa, jossa säädetään käsin laitteen sisällä olevan UV-lampun asentoa, tästä on ollut keskustelua. Tällaisissa tilanteissa on puhuttu, että vain mittaamalla säteilyn määrä säteilymittarilla saadaan varma tieto asiasta. Wallacilla on päätetty, että siihen asti on käytettävä suojalaseja.

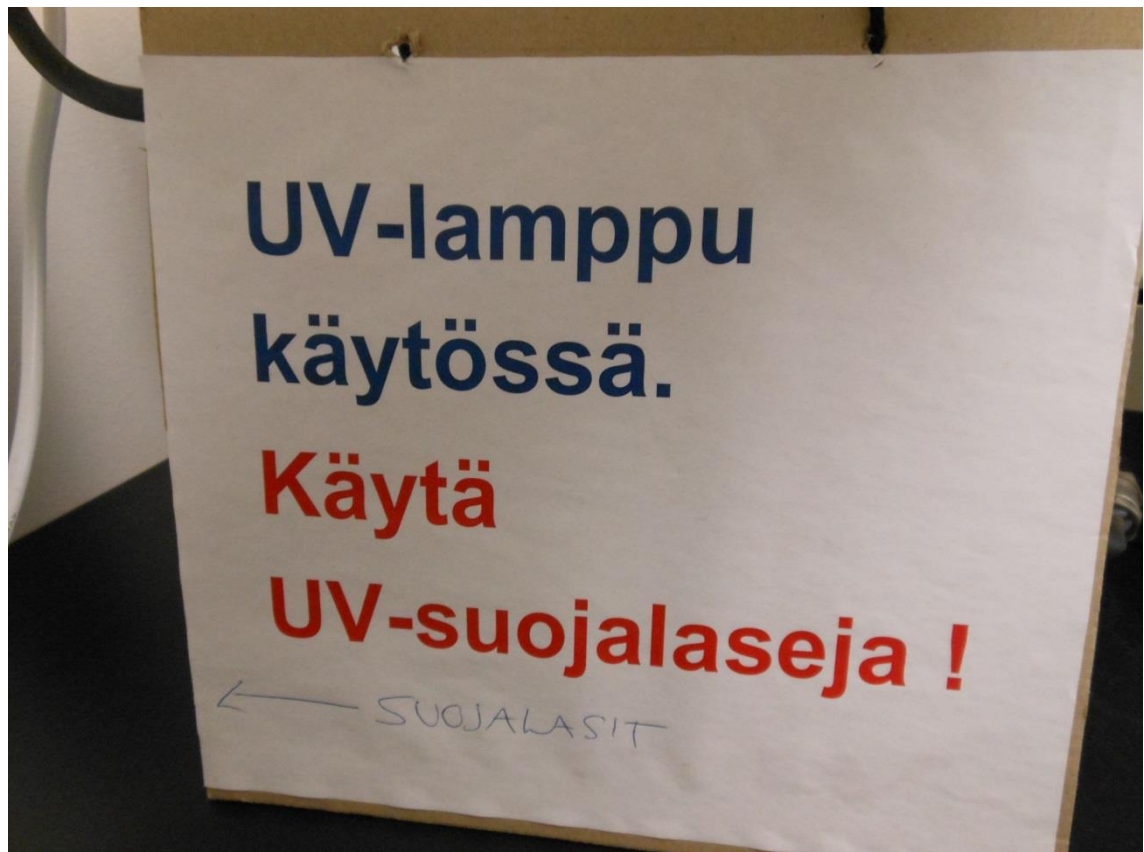
Jotkin UV-säteilylähteet ovat erityisen vaarallisia niiden suuren tehon vuoksi, esimerkkinä liikuteltava UV-lamppu, jonka teho on 400 W ja joka säteilee aal-

lonpituuksilla 350-800 nm. Tässä tapauksessa lampusta tuleva UV-säteily on UV-A-säteilyä (350-400 nm), ja lisäksi on näkyvää valoa (400-780 nm) ja vähän infrapunasäteilyä (780-800 nm). Lampun mukana on suojavarusteena UV-suojavisiiri. Mittauksen perusteella lampusta tuleva UV-säteily on kuitenkin pientä, ja suurin riski onkin lampun kirkkaus, joka voi häikäistä silmät ja lampusta tuleva lämpö.

Kaikki muoviset suojalasit suodattavat hyvin UV-säteilyä. Myös silmälasit suodattavat. Työturvallisuusorganisaatiolla on erityiset UV-suojalasit, joita saa lainata ja jotka eivät päästä läpi yhtään UV-säteilyä.

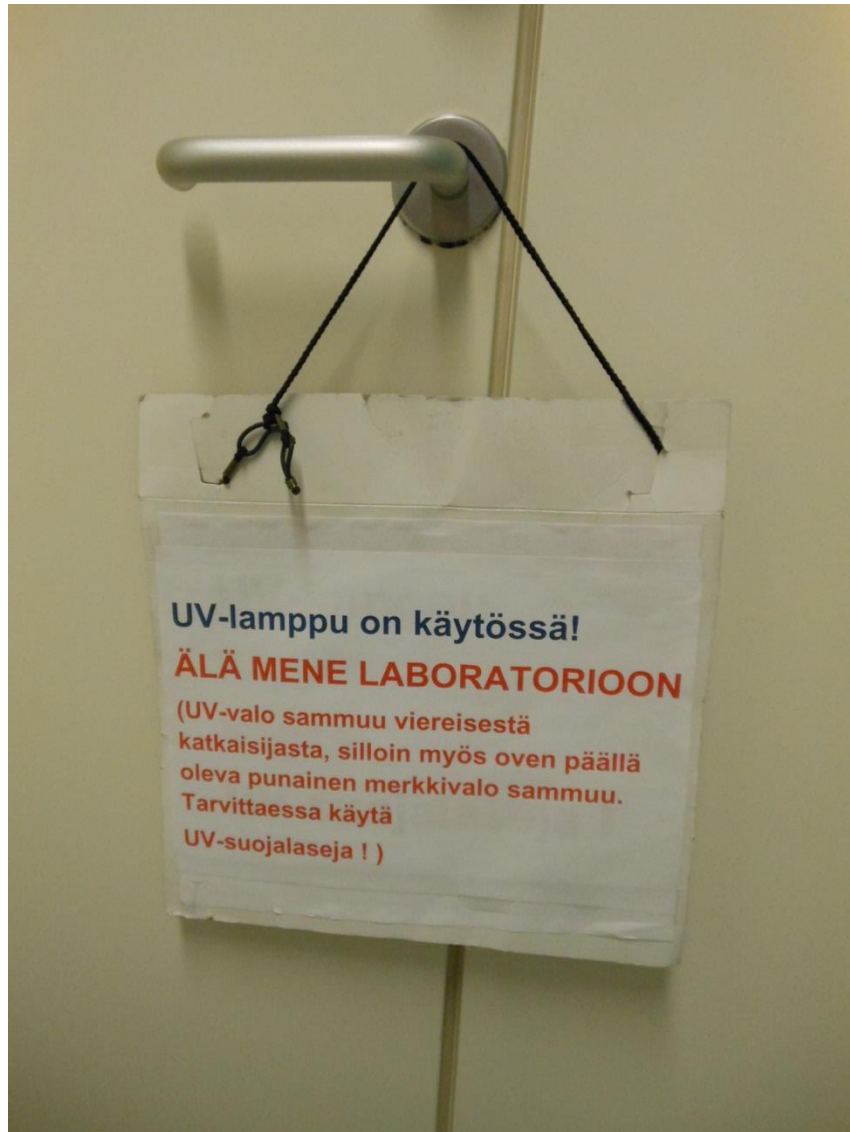
4.3.2 Wallacin varoitusmerkinnät

Lähes jokainen laite on merkitty asianmukaisella tavalla. Joissain laitteissa on vain valmistajan UV-varoitusmerkki, joka ei erotu selvästi laitteesta. Näihin laitteisiin olisi hyvä lisätä selkeä ja näkyvä varoitus UV-säteilystä. Varoitusteksti ja kuva voisi olla esimerkiksi oranssilla pohjalla. Merkinnät laitteissa vaihtelevat jonkin verran. Merkintöjä voisi yhtenäistää varoituksen selkeyden vuoksi. Alla on esimerkkejä erilaisista varoitusmerkeistä. Ensimmäinen on laboratorion oveen ripustettava kyltti.



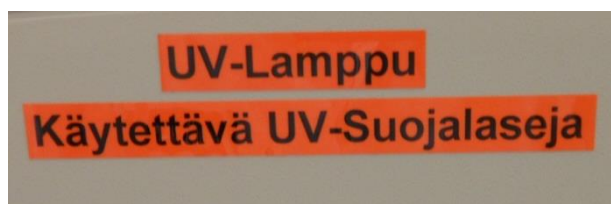
Kuva 10. Oveen ripustetaan kyltti, kun UV-lamppu on käytössä laboratorion laminaarikaapissa.

Kaikissa kylteissä ei lue samaa tekstiä, ja tekstityylikin on erilainen. Ovenkahvaan ripustettava varoituskyltti on hyvä tapa varoittaa vaarasta, sillä sen huomaa viimeistään ovea avatessaan.



Kuva 11. Ovenkahvaan ripustetaan varoituskyltti, kun UV-valo on päällä laboratoriossa.

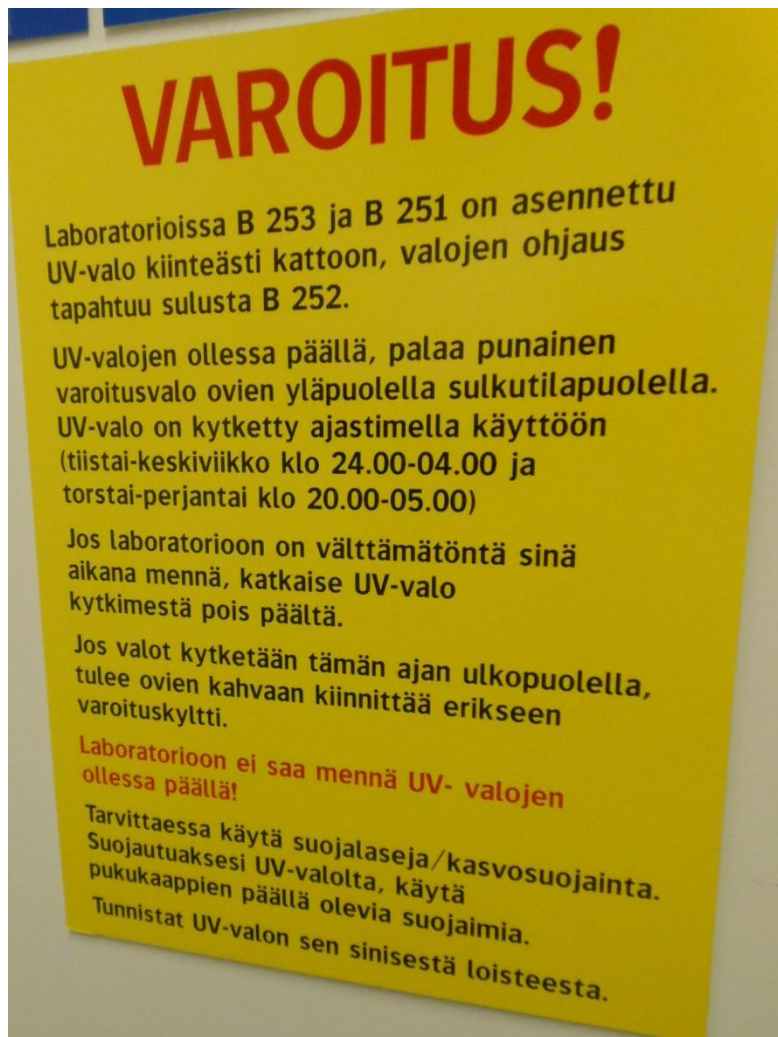
Myös pienikokoisia oransseja tarralappuja on käytössä. Tällaisen tarralapun voisi lisätä jokaiseen pienikokoiseen UV-säteilylähteeseen.



Kuva 12. Oranssi tarra UV-säteilystä varoittamiseen ja suojautumiskehoitus.

Koska merkinnät poikkeavat toisistaan, asian sisäistämiseksi niitä voisi yhteinäistää. Lukemista ja mieleenpainumista helpottaa, kun tietynlaisesta vaarasta käytetään aina samanlaista varoitusmerkkiä.

Jokainen huone, jossa UV-säteilyä käytetään, on merkitty hyvin oven ulkopuolelle kiinnitetyllä keltaisella kyltillä, joka varoittaa UV-säteilystä ja määrää suojautumaan. Suojautumiseen on kehoitus melkein joka UV-säteilylähteessä.



Kuva 13. Huoneen ovesta sen ulkopuolella kiinni oleva varoituskyltti.

Huoneiden ulkopuolella on lisäksi varoitusvalo, joka syttyy, kun huoneessa on UV-valo päällä.



Kuva 14. UV-valon ollessa käytössä laboratoriossa huoneen ulkopuolella palaa punainen valo, joka varoittaa laboratorioon menemisestä.

UV-säteilylle ei ole erikseen vahvistettu kuvatunnusta. UV-säteilyn varoitusmerkkinä voidaan käyttää optisen säteilyn varoitusmerkkiä lisämerkin "UV-säteily" kanssa (31).



Kuva 15. Optisen säteilyn varoitusmerkki. Tarvittaessa on käytettävä lisämerkkiä, jossa annetaan lisätietoa optisen säteilyn tyypistä (UV-säteily). (31)

Koulutus Wallacilla toteutetaan siten, että jokaisen organisaation esimiehet koulutetaan UV-säteilyn vaaroista tietoisiksi, ja heidän vastuullaan on kouluttaa

alaisensa, jotka tekevät työtä säteilylähteiden kanssa. Vain ne työntekijät perehdytetään UV-säteilyn käyttöön, jotka tarvitsevat työssään UV-säteilylähteitä.

Koulutus toteutetaan aina tarpeen mukaan. Työturvallisuusorganisaatio vastaa koulutuksesta. Kaikille työntekijöille olisi hyvä järjestää yleinen perehdytys UV-säteilystä. Siinä voisi näyttää muun muassa UV-säteilyn varoitusmerkin, jolloin jokainen tiedostaisi merkin nähdessään UV-säteilylle altistumisen mahdollisuuden.

5 LOPPUPÄÄTELMÄT

5.1 Työn arviointi

5.1.1 Tavoitteiden saavuttaminen

Työlle asetetut tavoitteet saavutettiin. Kartoitus tehtiin. UV-säteilylähteiden sijainti selvisi ja niistä otettiin valokuvat. Varoitusmerkinnät tarkistettiin. Suojausta arvioitiin. Mikäli se oli kunnossa, ei tarvita jatkotoimenpiteitä, jos ei ollut kunnossa, jatkotoimenpiteet sovittiin.

Teoriaosaan löydettiin yleistä tietoa UV-säteilystä sekä laeista ja asetuksista. Joitakin standardeja löytyi. UV-säteilyltä suojautumisesta löydettiin tietoa.

5.1.2 Luotettavuus

Lähteinä on käytetty alan asiantuntijoita ja kirjallisuuslähteitä sekä viranomaislähteitä. Joitakin päätelmiä on myös itse tehty. Näkökohtia on pohdittu Wallacin oman työturvallisuushenkilöstön sekä asiantuntijoiden kanssa.

Joidenkin laitteiden kohdalla tietoja (esim. tehot) on otettu suoraan edellisestä selvityksestä. Eli jos tehoa ei ole löytynyt laitteesta ja se on ollut kuitenkin edellisessä kartoituksessa, silloin sitä ei ole välttämättä lähdetty selvittämään, vaan on luotettu edellisen raportoijan hankkimaan tietoon.

5.1.3 Kattavuus

Sähköpostitse esitetyllä kyselyllä tavoitettiin kaikki esimiehet, ja siten pyrittiin kartoittamaan koko yrityksen UV-säteilylähteet. Siitä, saatiinko lähteet kartoitettua sataprosenttisesti, ei voida olla varmoja esimerkiksi inhimillisistä unohduksista tai siitä johtuen, jos asiaa ei ole joka organisaatiossa koettu tarpeeksi tärkeäksi. Myöskään siitä ei ole täyttä varmuutta, tavoittivatko sähköpostiryhmät

”esimiehet” ja ”päälliköt” kaikki UV-säteilylähteiden olemassaolosta perillä olevat henkilöt. Vastaus saatiin kaikilta, joille kyselykin lähetettiin. Siten vastaamisprosentti oli 100 %. UV-säteilylähteiden löytymisen kattavuudeksi arvioitiin 95 % edellä olevan perusteella.

5.1.4 Hyödynnettävyys

Laeista ja standardeista saadaan ohjeistusta jatkotoimenpiteille ja työturvallisuuden parantamiseen.

Varoitusmerkintöjä voidaan yhtenäistää tämän selvityksen perusteella, kuten esimerkiksi lisätä jokaiseen varoituskylttiin optisen säteilyn varoitusmerkki ja teksti ”UV-säteily”.

Opinnäytetyötä voidaan hyödyntää koulutusmateriaalina yrityksessä.

Työturvallisuuslaki velvoittaa selvittämään ja arvioimaan yrityksen työturvallisuusriskejä. Tällä opinnäytetyöllä kartoitustarve täytettiin UV-säteilyn osalta.

5.1.5 Merkitys

Wallacista löytyi sellaisia UV-säteilylähteitä, joita ei ollut löydetty aikaisemmassa kartoituksessa. Jotkin lähteet olivat myös vaihtaneet paikkaa.

Työturvallisuuden kannalta selvitys oli merkityksellinen yritykselle, sillä suojautuminen pystytään nyt suorittamaan kattavammin, kun tiedetään mitä pitää parantaa. Mittausten perusteella saatiin tarkkaa tietoa niistä UV-säteilylähteistä, joiden on epäilty aiheuttavan työturvallisuusriskiä mutta asiasta ei olla oltu varmoja. Kaikki UV-säteilylähteet olivat poikkeuksetta luultua vaarattomampia. Suojautumista tullaan näiden perusteella tarkistamaan ja siitä antamaan erikseen ohjeet.

Selvityksen perusteella myös toimenpiteisiin on jossain jo ryhdytty, ja joitakin käytöstä poistettuja vanhoja UV-lamppuja onkin irrotettu laboratorioiden seinistä, sekä yhteen kaappiin asennettu puuttunut suojaileksi.

Selvityksen perusteella saatiin tarkempi kuva siitä, kuinka paljon UV-säteilylähteitä Wallacissa on, missä ne sijaitsevat ja minkälaista riskiä ne aiheuttavat työturvallisuudelle. Laeista ja standardeista voidaan tarkistaa, onko kussakin pisteessä suojauduttu UV-säteilyltä tarpeeksi ja jos ei ole, niin mitä muutoksia tulee tehdä.

Kaikista säteilylähteistä on myös olemassa tarkemmat tiedot, kuin aikaisemmin tehdyissä kartoituksissa. Tietoja voidaan hyödyntää myöhemmin.

UV-säteilyn työturvallisuusriskeistä tiedetään nyt enemmän. Se motivoi panostamaan työturvallisuuteen.

5.2 Jatkotoimenpiteet

Jatkotoimenpiteinä pohdittiin seuraavia asioita:

Koko henkilökunnalle ei ole järjestetty perusperehdytystä UV-säteilystä. Sellainen voisi olla tarpeellista erityisesti Wallacissa normaalityöajan ulkopuolella työskenteleville kuten siivoojille. Varsinkin silloin, jos he joutuvat menemään työssään tiloihin, joissa saattavat altistua UV-säteilylle. UV-lamput ovat usein päällä öisin tai illalla. Kun UV-valo ja normaali valo ovat päällä yhtä aikaa, violettiä UV-valoa ei huomaa niin helposti kuin pimeässä. Se saattaa jäädä jopa kokonaankin huomioimatta. Tästä johtuen henkilö voi helposti tehdä sen virheellisen johtopäätöksen, että UV-valo ei ole vaarallinen tai vähätellä sen vaikutuksia. Siksi varoitusmerkinnät ovat erityisen tarpeellisia silloin kun UV-valo palaa samaan aikaan normaalin valon kanssa. Perehdytyksessä voisi näyttää muun muassa UV-säteilyn varoitusmerkin, jolloin jokainen tiedostaisi merkin nähdessään UV-säteilylle altistumisen mahdollisuuden. Myös yleistä tietoa UV-säteilystä olisi hyvä antaa.

Joitakin käytöstä poistettuja laitteita tulisi romuttaa, ettei kukaan voi vahingossa ottaa niitä enää uudelleen käyttöön.

Lähes jokainen laite on merkitty asianmukaisella tavalla. Joissain laitteissa on pelkkä valmistajan UV-varoitusmerkki, joka ei erotu selvästi laitteesta. Näihin laitteisiin tulisi lisätä erillinen UV-säteilyltä varoittava merkki. Merkintöjä tulisi yhtenäistää. Samanlainen merkki tunnistettaisiin silloin joka puolella rakennusta UV-säteilyltä varoittavaksi merkiksi ja se myös jäisi helpommin mieleen. Luke-mista ja mieleen painamista helpottaa, kun tietynlaisesta vaarasta käytetään aina samanlaista varoitusmerkkiä.

Jokaiseen UV-säteilylähteeseen tulisi lisätä optisen säteilyn varoitusmerkki tekstin "UV-säteily" kanssa. Merkinnot voisivat olla oranssilla pohjalla, esimerkiksi oranssi tarralappu mustalla tekstillä, koska silloin ne kiinnittäisivät parhaiten huomiota. Oranssin värinen merkki mielletään helpoiten varoitusmerkiksi. Tästä syystä pidän oranssia toimivimpana värinä, vaikka toinen mahdollinen väri voisi olla myös keltainen. Keltainen väri ei siksikään ole paras, että esimerkiksi optisen säteilyn varoitusmerkissä on keltainen pohja. Siten varoitusmerkkiä ei huomaisi niin helposti, koska sen pohja olisi samanvärinen.

Kaikissa kylteissä ei lue samaa tekstiä, ja tekstityylikin on erilainen. Esimerkiksi ovenkahvaan ripustettava varoituskyltti on hyvä tapa varoittaa vaarasta, sillä kyltin huomaa viimeistään ovea avatessaan, kun kyltti heiluu. Punainen UV-varoitusvalo on jokaisen laboratorion ulkopuolella, jossa sijaitsee UV-säteilylähte. UV-varoitusvalo on hyvä keino varoittaa UV-säteilystä. Yksinään se ei kuitenkaan ole riittävä, sillä se voi rikkoutua ja sitä ei ole helppo havaita sen ollessa melko korkealla.

Jokainen huone, jossa UV-säteilyä käytetään, on merkitty hyvin oven ulkopuolelle kiinnitetyllä keltaisella kyltillä, joka varoittaa UV-säteilystä ja määrää suojautumaan. Suojautumiseen on kehoitus melkein joka UV-säteilylähteen yhteydessä.



Kuva 16. Optisen säteilyn varoitusmerkki. (31)

UV-säteilyn käyttö voidaan joissakin tapauksissa korvata myös toisilla ratkaisuil-
la. Sen sijaan, että käytetään UV-säteilyä esimerkiksi laboratorion pöytäpintojen
desinfiointiin, voidaan käyttää vaikka etanolia (15).

Joissakin vanhemmissa laboratorioissa tai puhdastiloissa voi olla vielä puisia
pintoja, kuten Wallacissa erään laboratorion osassa. Niiden korvaaminen sellai-
silla metallipinnoilla, jotka hylkivät mikrobeja ja joita voi helpommin desinfioida
vaikka etanolilla, mahdollistaa UV:n käytön vähentämisen tai lopettamisen. La-
boratoriopintojen desinfiointi UV-säteilyä käyttämällä ei ole enää nykyaikaista
lukuun ottamatta laminaarikaappeja, joissa se on edelleenkin vallitseva desinfi-
ointimenetelmä. (Linjavastaava Sari Lindgren 10.12.2014)

Joidenkin laminaarikaappien sulkeutuminen alas asti tulisi tarkistaa mikäli hy-
väksytyt annosrajat ylittyvät mittaustulosten perusteella ja jos samassa tilassa
on tarpeellista työskennellä UV-valon ollessa päällä. Ellei tilaan tarvitse mennä,
kun UV-valo on päällä, tulee huolehtia varoitusmerkein ja tiedottamalla kun UV-
valo on käytössä tilassa.

Niille lähteille, joiden UV-säteily on mitattu ja havaittu raja-arvot ylittäviksi, teh-
dään suunnitelma säteilyltä suojaumisesta.

Kaikki muoviset suojalasit suodattavat hyvin UV-säteilyä. Myös silmälasit suo-
dattavat edestä tulevaa UV-säteilyä siltä osin kuin ne peittävät silmää. Silmän
sivu jää kuitenkin pelkillä silmälasilla suojaamatta. Sivulta suojaaminen on yhtä
tärkeää kuin edestä. Työturvallisuusorganisaatiolla on erityiset UV-suojalasit,
joita saa lainata ja jotka eivät päästä läpi yhtään UV-säteilyä.

Tarvitaan selkeät ohjeet, jotka ovat pysyvät ja päivitettävät ja jotka laitetaan sel-laiseen paikkaan, josta kaikki uudet esimiehet löytävät ne. Talossa esimiehet vaihtavat organisaatiota, ja jos organisaation uusi esimies ei ole aikaisemmin ollut organisaatiossa, jossa on UV-säteilylähteitä, hänen tulisi voida saada kä-siinsä niitä koskevat ohjeet. Vastaava tilanne on myös siinä tapauksessa, että organisaatioon tulee UV-säteilylähde ensimmäistä kertaa.

Olisi hyvä olla ohjeet siitä, miten toimitaan jos otetaan käyttöön uusi UV-säteilylähde, esimerkiksi kun laminaarikaappiin asennetaan UV-lamppu. Ohjeis-tuksena voisi esimerkiksi olla että siitä ilmoitetaan työturvallisuusorganisaatioon, jotta lähde voidaan lisätä listaan. Joissain laminaarikaapeissa (esim. mikrobio-logian laboratoriossa) on sähköpistoke, eli kaappiin on mahdollisuus asentaa UV-valo. Niissä ei kuitenkaan ole UV-lamppua. Kyseisissä tapauksissa ei ole työturvallisuusriskiäkään.

TTL:n mittareilla suoritettiin UV-säteilymittaus kaikista UV-lähteistä joita talossa on. Sillä saatiin selville kunkin UV-säteilylähteen säteily. Myös muihin oleellisiin kysymyksiin saatiin vastauksia kuten siihen, kuinka paljon laminaarikaapin suo-jalasi suodattaa UV-säteilyä ja heijastuuko säteily tilasta, jossa sitä käytetään, ikkunalasien läpi toiseen tilaan. Viereisessä laboratoriossa olevasta UV-säteilylähteestä ei tullut mittauksen perusteella UV-säteilyä ikkunan läpi toiseen huoneeseen. Ikkunalasi suodattaa hyvin UV-B- ja UV-C-säteilyn. Mittaus ei kuu-lunut enää opinnäytetyön sisältöön, joten sitä ei ole käsitelty työssä tarkemmin.

Mittaustuloksia tullaan vertaamaan sallittuihin enimmäisannoksiin työntekijöille. Laitteen käyttötarkoitus ja käyttöaika huomioidaan tapauskohtaisesti. Näiden perusteella selvitetään, altistuuko joku työntekijä liian suurelle säteilyannokselle kyseisen lähteen parissa työskennellessään, ja sen perusteella päätetään tar-peelliset suojautumistoimenpiteet kyseisen laitteen käytölle.

Yleiseen säteilyturvallisuuteen liittyviä standardeja olisi hyvä etsiä lisää. Myös optisen säteilyn käyttöön ja UV-säteilyyn liittyviä standardeja löytynee varmasti enemmän, kuin tässä työssä mainitut.

Joillekin UV-säteilylähteille ehdotettiin jatkotoimenpiteitä, kuten romuttaminen, laitteen merkitseminen UV-varoitustarralla, tai sen varmistaminen kuka osaa käyttää laitetta.

Varastossa on joitain lähteitä kuten spektrofotometri, joita ei ole merkitty tunnisteen eli SOTU-numerolla mutta joiden parissa työskennellessään työntekijä ei altistu UV-säteilylle, koska säteilylähde on laitteen sisällä. Nämä ovat kotimaan huolto -organisaation laitteita eivätkä aiheuta työturvallisuusriskiä. Laitteet ovat siis sellaisia, joissa UV-lamppu on sisällä eikä säteilyä pääse ulos, kuten esimerkiksi spektrofotometrejä. Ne ovat lisäksi lukitussa tilassa, jonne pääsevät vain määrätyt henkilöt, eivätkä laitteet ole normaalisti päällä. Laitteita käytetään pelkästään koekäyttöön ja tähänkin vain muutaman kerran vuodessa. Laitteet, joilla ei ole SOTUa, tulisi merkitä SOTUlla.

Jotkin UV-säteilylähteet ovat erityisen vaarallisia niiden suuren tehon vuoksi, esimerkkinä liikuteltava UV-lamppu, jonka teho on 400 W ja joka säteilee aallonpituuksilla 350-800 nm. Tässä tapauksessa lampusta tuleva UV-säteily on UV-A-säteilyä (350-400 nm), ja lisäksi on näkyvää valoa (400-780 nm) ja vähän infrapunasäteilyä (780-800 nm). Lampun mukana on suojavarusteena UV-suojavisiiri. Mittauksen perusteella lampusta tuleva UV-säteily on kuitenkin pientä, ja suurin riski onkin lampusta tuleva lämpö sekä lampun kirkkaus, joka voi häikäistä silmät.

6 LÄHDELUETTELO

1. **ACGIH.** About: ACGIH. [Online] 2014. [Viitattu: 23. Huhtikuu 2015.]
<http://www.acgih.org/About/>.

2. **Huurto, Laura;Nyberg, Heidi ja Ylianttila, Lasse.** UV-säteilyn altistumisrajat: STUK. [Online] 2009. [Viitattu: 25. Helmi 2015.]
http://www.stuk.fi/julkaisut_maaraykset/kirjasarja/fi_FI/kirjasarja7/_files/82446510514176591/default/STUK_7_luku_7.pdf.

3. **Lasse Ylianttila, Kari Jokela.** Radiometria: STUK. [Online] 2009. [Viitattu: 23. Helmi 2015.]
http://www.stuk.fi/julkaisut_maaraykset/kirjasarja/fi_FI/kirjasarja7/_files/82446450070782487/default/STUK_7_luku_2.pdf.

4. **Työterveyslaitos.** Ionisoimaton säteily. [toim.] Anna-Liisa Karhula.
Terveystarkastukset työterveyshuollossa. Vammala : Vammalan Kirjapaino Oy, 2006, ss. 138-139.

6. **Työterveyslaitos.** Optinen säteily. [Online] 2014. [Viitattu: 7. Huhtikuu 2015.]
http://www.ttl.fi/fi/tyoymparisto/sateily/ionisoimaton_sateily/optinen_sateily/sivut/default.aspx.

7. **Työterveyslaitos.** Usein kysyttyä. [Online] 2015. [Viitattu: 20. Helmikuu 2015.]
http://www.ttl.fi/fi/tyoturvallisuus_ja_riskien_hallinta/tapaturmien_ehkaisy/usein_kysyttya/sivut/details.aspx?item=18.

8. **Syöpäjärjestöt.** Ultraviolettisäteily. [Online] 2014. [Viitattu: 23. Helmi 2015.]
<http://www.cancer.fi/syovanehkaisy/aurinko/ultraviolettisateily/>.

9. **STUK.** Auringon ultraviolettisäteily. [Online] 2014. [Viitattu: 23. Helmi 2015.]
http://www.stuk.fi/sateily-ymparistossa/uvssateily/fi_FI/uvssateily/.

10. **Ylianttila, Lasse;ym.;ym.** Altistuminen UV-säteilylle: STUK. [Online] 2009. [Viitattu: 23. Helmi 2015.]

http://www.stuk.fi/julkaisut_maaraykset/kirjasarja/fi_FI/kirjasarja7/_files/82446510513783374/default/STUK_7_luku_6.pdf.

11. **STUK**. Ionisoimaton säteily. [Online] 2010. [Viitattu: 23. Helmi 2015.]

http://www.stuk.fi/ihminen-ja-sateily/mitaonsateily/fi_FI/ionisoimaton/.

12. **STUK**. Mitä säteily on?. [Online] 21. Marraskuu 2012. [Viitattu: 9. Maaliskuu 2015.] http://www.stuk.fi/ihminen-ja-sateily/mitaonsateily/fi_FI/mitaonsateily/.

13. **Pastila, Riikka;Nyberg, Heidi ja Jokela, Kari**. Johdatus optiseen säteilyyn: STUK. [Online] 2009. [Viitattu: 23. Helmi 2015.]

http://www.stuk.fi/julkaisut_maaraykset/kirjasarja/fi_FI/kirjasarja7/_files/82446394336412158/default/STUK_7_luku_1.pdf.

14. **Työterveyslaitos**. UV-säteily ja suojautuminen. [Online] 2014. [Viitattu: 7. Huhtikuu 2015.]

http://www.ttl.fi/fi/tyoturvaluus_ja_riskien_hallinta/henkilonsuojaimet/suojainratkaisuja/uv-s%C3%A4teily_suojautuminen/sivut/default.aspx.

15. **Pirkanmaan sairaanhoitopiiri**. Välinehuolto. [Online] 2014. [Viitattu: 25. Helmi 2015.] <http://www.pshp.fi/default.aspx?contentid=8789>.

16. **Pastila, Riikka;ym.;ym**. UV-säteilyn biologisia ja terveydellisiä vaikutuksia: STUK. *Säteilyturvakeskus*. [Online] 2009. [Viitattu: 23. Helmi 2015.]

http://www.stuk.fi/julkaisut_maaraykset/kirjasarja/fi_FI/kirjasarja7/_files/82446510513455693/default/STUK_7_luku_5.pdf. 978-951-712-509-3.

17. **Opetushallitus**. Hiilivetyjen sidosrakenne. [Online] 2. Joulu 2014. [Viitattu: 26. Helmi 2015.]

<http://www02.oph.fi/etalukio/opiskelumodulit/kemia/kemia5/hiilisid.html>.

18. **Wikipedia**. Ultraviolettisäteily. [Online] 2015. [Viitattu: 26. Helmi 2015.]

<http://fi.wikipedia.org/wiki/Ultraviolettis%C3%A4teily>.

19. **Työterveyslaitos**. Henkilönsuojaimet. [Online] 2014. [Viitattu: 26. Helmi 2015.]

http://www.ttl.fi/fi/tyoturvallisuus_ja_riskien_hallinta/henkilonsuojaimet/sivut/default.aspx.

20. **Laki työsuojelun valvonnasta ja työpaikan työsuojeluyhteistoiminnasta.** 20.1.2006/44.

21. **Energiateollisuus.** Hyvä tietää säteilystä. [Online] 2007. [Viitattu: 26. Helmi 2015.] http://energia.fi/sites/default/files/hyva_tietaa_sateilysta_lr_130808.pdf.

22. **Mäkelä, Kari.** Ionisoimaton säteily ja sähkömagneettiset kentät: STUK. [Online] 4. Joulukuu 2014. [Viitattu: 9. Maaliskuu 2015.] http://www.stuk.fi/julkaisut_maaraykset/kirjasarja/fi_FI/kirjasarja6/_files/12222632510021200/default/6_1.pdf.

23. **Säteilylaki.** 27.3.1991/592.

24. **Asetus ionisoimattoman säteilyn väestölle aiheuttaman altistumisen rajoittamisesta.** 4.4.2002/294.

25. **Asetus ionisoimattoman säteilyn valvonnasta.** 1306/1993.

26. **Työterveyslaitos.** Lainsäädäntö ja ohjearvot. [Online] 2013. [Viitattu: 12. Maalis 2015.] <http://www.ttl.fi/fi/tyoymparisto/sateily/lainsaadanto/sivut/default.aspx>.

27. **STUK.** Esimerkkejä säteilyannoksista. [Online] 2012. [Viitattu: 26. Helmi 2015.] http://www.stuk.fi/sateilyvaara/fi_FI/esim_annos/.

28. **STUK.** Säteilyturvallisuus ja laatu röntgendiagnostiikassa 2005. [Online] 2005. [Viitattu: 17. Maaliskuu 2015.] <http://www.stuk.fi/julkaisut/stuk-c/stuk-c4.pdf>.

29. **Solar Light Company, Inc.** *Solar Light Company Web site.* [Online] 1. September 2014. [Viitattu: 8. February 2015.] <http://solarlight.com/product/pma-2120-uv-radiation-safety-sensor/>.

30. **Valtioneuvoston asetus työntekijöiden suojelemiseksi optiselle säteilylle altistumisesta aiheutuvilta vaaroilta.** 146/2010.

31. **Finlex.** OHJE ST 1.3/9.12.2013.

32. **Huurto, Laura;Nyberg, Heidi ja Ylianttila, Lasse.** Ultravioletti- ja lasersäteily. *STUK*. [Online] 2009. [Viitattu: 18. Helmikuu 2015.]
http://www.stuk.fi/julkaisut_maaraykset/kirjasarja/fi_FI/kirjasarja7/_files/82446510514176591/default/STUK_7_luku_7.pdf. 978-951-712-509-3.

33. **Aalto Yliopisto.** 43 Planckin säteilylaki: Aalto University School of Science, Department of Applied Physics. [Online] 2012. [Viitattu: 24. Helmi 2015.]
<http://physics.aalto.fi/pub/kurssit/Tfy-3.15xx/Teoria/tyo43.pdf>.

34. **Wikipedia.** Urokaanihappo. [Online] 2013. [Viitattu: 26. Helmi 2015.]
<http://fi.wikipedia.org/wiki/Urokaanihappo>.

35. **Sosiaali- ja terveystieteiden ministeriön asetus ionisoimattoman säteilyn väestölle aiheuttaman altistumisen rajoittamisesta.** 294/2002.

36. **Väisälä, Seppo;Korpela, Helinä ja Kaituri, Mauri.** Säteilyn käyttö teollisuudessa ja tutkimuksessa: STUK. [Online] 8. Syyskuu 2014. [Viitattu: 4. Maalis 2015.]
http://www.stuk.fi/julkaisut_maaraykset/kirjasarja/fi_FI/kirjasarja3/_files/12222632510021004/default/kirja3_4.pdf.

37. **Energiateollisuus.** Hyvä tietää säteilystä. [Online] 2007. [Viitattu: 8. Huhtikuu 2015.]
http://energia.fi/sites/default/files/hyva_tietaa_sateilysta_lr_130808.pdf.

38. **Säteilylähteiden varoitusmerkit.** OHJE ST 1.3/9.12.2013.